



**Luciano Dias de Oliveira Pereira**

**FÁCIES SEDIMENTARES E EVOLUÇÃO PALEOAMBIENTAL DA  
LAGOA SALGADA (LITORAL NORTE DO RIO DE JANEIRO)**

**Trabalho Final de Curso  
(Geologia)**

UFRJ  
Rio de Janeiro  
2014



UFRJ

**Luciano Dias de Oliveira Pereira**

## **FÁCIES SEDIMENTARES E EVOLUÇÃO PALEOAMBIENTAL DA LAGOA SALGADA (LITORAL NORTE DO RIO DE JANEIRO)**

Trabalho Final de Curso de Graduação em Geologia do Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ, apresentado como requisito necessário para obtenção do grau de Geólogo.

Orientador:

Patrick Führ Dal'Bó

Rio de Janeiro  
Fevereiro de 2014

PEREIRA, Luciano Dias de Oliveira

**Fácies Sedimentares e Evolução Paleoambiental da Lagoa Salgada (Litoral Norte do Rio de Janeiro)/**

Luciano Dias de Oliveira Pereira - - Rio de Janeiro: UFRJ / IGEO, 2014.

xii, 62 p.: il.; 30cm

Trabalho Final de Curso (Geologia) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Instituto de Geociências, Departamento de Geologia, 2014.

Orientador: Patrick Führ Dal'Bó

1. Geologia. 2. Paleontologia e Estratigrafia – Trabalho de Conclusão de Curso. I. Patrick, Führ Dal'Bó. II. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Instituto de Geociências, Departamento de Geologia. III. fácies Sedimentares e Evolução Paleoambiental da Lagoa Salgada (Litoral Norte do Rio de Janeiro).

Luciano Dias de Oliveira Pereira

## **FÁCIES SEDIMENTARES E EVOLUÇÃO PALEOAMBIENTAL DA LAGOA SALGADA (LITORAL NORTE DO RIO DE JANEIRO)**

Trabalho Final de Curso de Graduação em Geologia do Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ, apresentado como requisito necessário para obtenção do grau de Geólogo.

Orientador:

Patrick Führ Dal'Bó

Aprovada em:

Por:

---

Orientador: Patrick Führ Dal'Bó (UFRJ)

---

Leonardo Borghi (UFRJ)

---

Cláudio Limeira Mello (UFRJ)

Dedico este trabalho a meus pais (Luiz e Irene),  
meu irmão (Junior), responsáveis por cada passo  
deste longo caminho.

E aos amigos da turma de 2010 por terem feito  
desta jornada uma alegria constante.

## **Agradecimentos**

Ao amigo e professor Dr. Patrick Führ Dal'Bó (UFRJ) pela orientação, incentivo e confiança, que foram essenciais para o desenvolvimento deste trabalho.

Ao amigo e professor Dr. Leonardo Fonseca Borghi de Almeida (UFRJ) pelos ensinamentos e oportunidades, as quais foram de grande importância para minha formação acadêmica.

Ao Laboratório de Geologia Marinha (LAGEMAR – Universidade Federal Fluminense - UFF) pela coleta dos testemunhos de sondagem.

Ao Centro de Pesquisas Schlumberger (BRGC) pela confecção de lâminas petrográficas.

A geóloga Lorena da Fonseca Sampaio pelo auxílio na descrição dos testemunhos e na revisão deste trabalho.

À Petrobras pela concessão da bolsa de iniciação científica junto ao Projeto Lagoas II.

Aos companheiros de turma e de Laboratório de Geologia Sedimentar (Lagesed- UFRJ), pelas discussões e amizade, que foram fundamentais para minha formação geológica.

## Resumo

PEREIRA, Luciano Dias de Oliveira. **Fácies Sedimentares e Evolução Paleoambiental da Lagoa Salgada (Litoral Norte do Rio de Janeiro)**. 2014. xii, 62 f. Trabalho Final de Curso (Geologia) – Departamento de Geologia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

A Lagoa Salgada está localizada na região norte do estado do Rio de Janeiro, entre os municípios de Campos dos Goytacazes e São João da Barra. A Lagoa Salgada é um corpo de água hipersalino, de idade holocênica, que ocupa uma área de aproximadamente 16 km<sup>2</sup>. Sua formação está associada às flutuações do nível relativo do mar durante o Quaternário, tem como característica a presença de estruturas carbonáticas, produzidas por processos sedimentológicos e biológicos, relacionados ao desenvolvimento e crescimento de comunidades microbianas bentônicas. Nas margens da lagoa, é comum a ocorrência de estromatólitos domais, estratiformes e colunares. A melhor compreensão dos fatores ambientais e processos sedimentológicos que influenciam na formação destas estruturas e na sedimentação carbonática se faz necessário para o entendimento da história evolutiva da lagoa, servindo assim de motivação para o presente estudo. O objetivo deste trabalho é realizar a caracterização das fácies sedimentares observadas em testemunhos rasos de sondagem e em estromatólitos, visando compreender a evolução paleoambiental da Lagoa Salgada. Para o estudo foram coletadas duas amostras de estromatólito e onze testemunhos de sondagem, os quais foram descritos macro e microscopicamente. Foram caracterizadas nove fácies sedimentares, cinco a partir dos testemunhos e quatro em estromatólitos. Do ponto de vista sedimentológico e paleoambiental, as fácies indicam três fases distintas de sedimentação: a) marinha; b) de comunicação restrita com o mar; c) lagoa fechada.

Palavras-chave: Fácies Sedimentares; Lagoa Salgada; Estromatólitos.

## Abstract

PEREIRA, Luciano Dias de Oliveira. **Sedimentary Facies and Paleoenvironmental Evolution of Lagoa Salgada (North Coast of Rio de Janeiro)**. 2014. xii, 62 f. Trabalho Final de Curso (Geologia) – Departamento de Geologia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

The Lagoa Salgada is located in the northern region of Rio de Janeiro state, between the municipalities of Campos dos Goytacazes and São João da Barra. The Lagoa Salgada is a body of hypersaline water, of holocene age, which covers an area of approximately 16 km<sup>2</sup>. Its origin is associated with fluctuations in the relative sea level and is characterized by the presence of carbonate structures, produced by sedimentological and biological processes, related to the development and growth of benthic microbial communities. On the margins of the lagoon the occurrence of domal, stratiforms and columnar stromatolites are common. A better understanding of the paleoenvironmental factors and sedimentological processes that influence these structures and carbonate sedimentation is necessary for understanding the evolution of Lagoa Salgada. The objective of this work is to characterize the sedimentary facies in cores and stromatolites. For this study were collected two samples of stromatolites and eleven cores, which were described macroscopically and microscopically. Nine sedimentary facies were defined, five from the cores and four from stromatolites. From the sedimentological and paleoenvironmental point of view, the facies indicate three distinct phases of sedimentation: a) marine b) restricted communication with sea c) closed lagoon.

**Keywords:** Sedimentary Facies; Lagoa Salgada; Stromatolites.



## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1-</b> Margem sudoeste da Lagoa Salgada destacando os estromatólitos em superfície....	3
<b>Figura 2-</b> Imagem de satélite da Lagoa Salgada, com a localização dos testemunhos de sondagem.....	4
<b>Figura 3-</b> Testemunho de sondagem LS-02 descrito e seu respectivo perfil. ....	7
<b>Figura 4-</b> Posição das doze lâminas confeccionadas: três lâminas a partir do testemunho de sondagem LS-10 e nove lâminas das amostras de estromatólito. A- Amostra 1. B- Amostra 2.....	9
<b>Figura 5-</b> Processos primários de mineralização envolvidos na gênese de microbialitos (modificado de BURNE e MOORE, 1987).....	10
<b>Figura 6-</b> Gráfico mostrando a abundância relativa de estromatólitos ao longo do tempo geológico (modificado de STAL, 2000). ....	13
<b>Figura 7-</b> Representação ilustrativa dos critérios propostos por Preiss (1972) para classificação dos estromatólitos.....	14
<b>Figura 8-</b> Diagrama estratigráfico da Bacia de Campos (WINTER <i>et al.</i> , 2007) .....	18
<b>Figura 9-</b> Modelo dos estágios de evolução da sedimentação litorânea por mecanismos eustáticos e paleoclimáticos (MARTIN <i>et al.</i> 1984).....	21
<b>Figura 10-</b> Imagem de satélite mostrando a localização da Lagoa Salgada no estado do Rio de Janeiro (Google Earth, 2013). ....	22
<b>Figura 11-</b> Mapa geológico da região norte do estado do Rio de Janeiro destacando a Lagoa Salgada (retirado de CATALDO, 2011 – modificados de MARTIN <i>et al.</i> 1993 e SRIVASTAVA, 2002) .....	23
<b>Figura 12:</b> Testemunho LS-02 destacando a parte basal onde está localizada a Fácies Ab. No detalhe é possível reconhecer as conchas de bivalvíos no interior da camada arenosa. ....	29
<b>Figura 13:</b> Testemunho LS-02 mostrando a fácies La e a subdivisão desta em duas sub-fácies (La-1 e La-2).....	31
<b>Figura 14:</b> Fotomicrografia em nicois cruzados do testemunho LS-10, na profundidade de 130 cm mostrando a textura do intervalo La-1. Observar o mal selecionamento dos clastos e sua maior proporção com relação a matriz.....	32
<b>Figura 15:</b> Fotomicrografia em nicois cruzados do testemunho LS-10, na profundidade de 130 cm. Observar a diversidade de organismos. Seta vermelha indicando foraminíferos; seta amarela mostrando as ascídias, e a seta verde indica fragmentos de bivalvíos. ....	33
<b>Figura 16:</b> Fotomicrografia em nicois cruzados do testemunho LS-10, na profundidade de 130 cm. A seta amarela destaca o nanofóssil calcário (ascídias), as setas vermelhas indicam fragmentos desses nanofósseis. ....	33
<b>Figura 17:</b> Fotomicrografia em nicois cruzados do testemunho LS-10, na profundidade de 105 cm. Observe a textura do intervalo La-2, matriz de lama carbonática/terrígena e grãos de quartzo mal selecionados. ....	34
<b>Figura 18:</b> Fotomicrografia em nicois cruzados do testemunho LS-10, na profundidade de 105 cm. As setas em vermelho indicam fragmentos de conchas de bivalves. Destaque para o mal selecionamento dos grãos de quartzo. ....	35
<b>Figura 19:</b> Fotomicrografia em nicois cruzados do testemunho LS-10, na profundidade de 105 cm. A seta vermelha indica um foraminífero bentônico e a seta amarela indica uma ascídia (nanofóssil calcário). ....	35
<b>Figura 20:</b> Testemunho de sondagem LS-10. Em destaque as intercalações de esteiras microbianas (cor verde musgo) e carbonato de cálcio (cor branca). ....	36

<b>Figura 21:</b> Fotomicrografia em nicois cruzados do testemunho LS-10 na profundidade de 75cm. Destaque para os grãos de quartzo aprisionados nas esteiras (setas vermelhas). – Observar lâmina de carbonato (500 µm de espessura) intercalada com esteiras. ....	37
<b>Figura 22:</b> Testemunhos de sondagem LS-03, LS-09 e LS-12. Notar a presença da fácies Lo a partir da linha tracejada em vermelho, na parte superior dos testemunhos.....	38
<b>Figura 23:</b> Detalhe da fácies Lo. A seta vermelha indica a presença de microgastrópodes. ...	39
<b>Figura 24:</b> Testemunho de sondagem LS-02 mostrando a posição da Fácies Ag. No detalhe à direita, destaque para a acumulação dos microgastrópodes. ....	40
<b>Figura 25:</b> Amostra 1 subdividida em quatro fácies a partir de aspectos morfológicos e composicionais. ....	41
<b>Figura 26:</b> Amostra 2 subdividida em quatro fácies a partir de aspectos morfológicos e composicionais. ....	42
<b>Figura 27:</b> Estromatólito de Lagoa Salgada (Amostra 1). As setas vermelhas indicam os dois locais de ocorrência da fácies 1. ....	43
<b>Figura 28:</b> Detalhe da fácies 1. As linhas tracejadas amarelas destacam as lâminas onduladas e contínuas que se desenvolveram sobre marcas onduladas. ....	44
<b>Figura 29:</b> Fotomicrografia da fácies 1, mostrando grãos de quartzo cimentados por carbonato de cálcio intercalados com laminações carbonáticas. ....	44
<b>Figura 30:</b> Base do estromatólito da Lagoa Salgada (Amostra 2). As fácies 1 e 2 estão separadas pela linha tracejada. As setas em vermelho mostram os tubos de serpulídeos que são característicos da fácies 2. ....	45
<b>Figura 31:</b> Fotomicrografias da fácies 2. a) Textura grumosa, caracterizada pela calcificação de cianobactérias esféricas. b) Seta vermelha indicando a porosidade móldica; c) Tubos de serpulídeos revestidos por calcita microcristalina e, por vezes preenchidos por grãos de quartzo; d) Seta vermelha mostrando um microgastrópode preenchido por grãos de quartzo e cimentado por carbonato de cálcio. ....	46
<b>Figura 32:</b> Detalhe do estromatólito mostrando a fácies 3. As setas em vermelho indicam as laminações finas e o desenvolvimento de colunas estromatolíticas. A seta amarela mostra a fácies 1, que serve de base para o desenvolvimentos destas estruturas. ....	47
<b>Figura 33:</b> Fotomicrografia da fácies 3 em nicois cruzados, destacando as laminações finas e crenuladas (seta amarela) e microgastrópode (seta vermelha). ....	48
<b>Figura 34:</b> Fotomicrografia da fácies 3, mostrando o “bolsão” formado por grãos de quartzo, os quais exerceram uma sobrecarga sobre as esteiras. ....	49
<b>Figura 35:</b> Fácies 4 em detalhe. As setas em vermelho indicam tubos de serpulídeos. A seta amarela mostra o desenvolvimento de colunas estromatolíticas. ....	50
<b>Figura 36:</b> Fotomicrografias da fácies 4. A) Tubos de serpulídeos preenchidos por grãos de quartzo. B) Laminações finas e crenuladas (seta vermelha) bioturbação e fragmentos de conchas (seta amarela). C) Coluna estromatolítica. ....	51
<b>Figura 37:</b> Esquema ilustrativo da fase marinha da Lagoa Salgada. ....	52
<b>Figura 38:</b> Esquema ilustrativo da formação da Lagoa Salgada na fase em comunicação restrita com o mar. Início do assoreamento da lagoa; em detalhe, formação dos estromatólitos nas margens e sedimentação de lama arenosa no interior da lagoa (fácies La). ....	53
<b>Figura 39:</b> Esquema ilustrativo da formação da Lagoa Salgada na fase em comunicação restrita com o mar. Nota-se a diminuição do nível relativo do mar em relação à figura 38 (NRM3 < NRM2) e o processo de fechamento das ilhas barreiras. ....	55
<b>Figura 40:</b> Esquema ilustrativo da formação da Lagoa Salgada na fase sem comunicação marinha. Fase de sedimentação da lama orgânica (fácies Lo) e final de formação dos estromatólitos.....	57
<b>Figura 41:</b> Seção esquemática SW-NE da Lagoa Salgada mostrando algumas fácies observadas, e a direita a correlação com o testemunho de sondagem LS-02.....	58

## Lista de Quadros

<b>Quadro 1:</b> Testemunhos de sondagem e suas respectivas profundidades e coordenadas geográficas:.....	5
<b>Quadro 2:</b> Parâmetros físicos da Lagoa Salgada.....	23
<b>Quadro 3:</b> Síntese das fácies sedimentares da Lagoa Salgada.....	27

## Sumário

Agradecimentos.....	v
Resumo.....	vi
Abstract.....	vii
Lista de Figuras.....	viii
Lista de Quadros .....	x
 <b>1- INTRODUÇÃO .....</b>	 <b>1</b>
<b>1.1- Apresentação.....</b>	<b>1</b>
<b>1.2 - Objetivos e finalidade .....</b>	<b>2</b>
 <b>2- MATERIAIS E MÉTODOS.....</b>	 <b>3</b>
<b>2.1- Etapa de campo.....</b>	<b>3</b>
<b>2.2- Etapas Laboratoriais .....</b>	<b>6</b>
 <b>3- REVISÃO DA LITERATURA.....</b>	 <b>10</b>
<b>3.1- Contexto geomicrobiológico .....</b>	<b>10</b>
3.1.1- Microbialitos.....	10
3.1.2- Estromatólitos .....	11
<b>3.2- Contexto geológico .....</b>	<b>16</b>
3.2.1- Bacia de Campos .....	16
3.2.2- Evolução do Complexo deltaico do Rio Paraíba do Sul .....	19
3.2.3- Lagoa Salgada.....	22
 <b>4- RESULTADOS .....</b>	 <b>26</b>
<b>4.1- Caracterização faciológica.....</b>	<b>26</b>
<b>4.2- Testemunhos de sondagem .....</b>	<b>28</b>
4.2.1- Fácies Ab (Areia bioclástica) .....	28
4.2.2- Fácies La (Lama arenosa).....	30
4.2.3- Fácies Bi (Biolaminito) .....	36
4.2.4- Fácies Lo (Lama orgânica) .....	37
4.2.5- Fácies Ag (Acumulação de microgastrópodes) .....	39
<b>4.3- Estromatólitos de Lagoa Salgada .....</b>	<b>41</b>
4.3.1- Fácies 1.....	43
4.3.2- Fácies 2.....	45
4.3.3- Fácies 3.....	47

4.3.4- Fácies 4.....	49
<b>5- DISCUSSÕES .....</b>	<b>52</b>
<b>6- CONCLUSÃO.....</b>	<b>59</b>
<b>7- REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>60</b>

**Apêndice A** - Testemunhos de sondagem e seus respectivos perfis sedimentológicos.

## **1- INTRODUÇÃO**

### **1.1- Apresentação**

A compreensão da evolução da planície costeira do rio Paraíba do Sul, particularmente da Lagoa Salgada, tem sido alvo de interesse de diversos estudos, dentre os quais, destacam-se Lemos (1996), que abordou a estratigrafia da lagoa por meio do estudo de testemunhos de sondagem; Srivastava (2002) que enfatizou as feições morfológicas e a gênese dos estromatólitos, Silva e Silva (2002) que discutiu os aspectos geomicrobiológicos das cianobactérias e Iespa (2010) que realizou a análise microfácilógica dos estromatólitos através de estudos petrográficos.

Os estromatólitos são estruturas organossedimentares produzidas por aprisionamento e/ou precipitação como resultado do crescimento e da atividade metabólica de organismos microbianos, principalmente cianobactérias (AWRAMIK e MARGULIS, 1974). Os estromatólitos, assim como as esteiras microbianas, oncólitos e trombólitos estão englobados no conceito de microbialitos, que são produtos da interação entre as comunidades microbianas com os sedimentos (BURNE e MOORE, 1987).

A ocorrência de estromatólitos holocênicos nas bordas da lagoa e sua possível analogia com as rochas carbonáticas das recentes descobertas de hidrocarbonetos realizadas no intervalo Alagoas (~Aptiano, Cretáceo Inferior) das bacias da margem sudeste brasileira (intervalo “Pré-sal”), motivou o crescente estudo dos estromatólitos e dos ambientes de sedimentação nos quais se desenvolvem. Os estromatólitos encontrados na Lagoa Salgada são os únicos exemplares conhecidos no Brasil de idade holocênica e compreendem variações morfológicas colunares, domais e estratiformes, além de apresentar trombólitos e oncólitos associados (SRIVASTAVA, 2002).

Não obstante aos avanços em relação a caracterização dos parâmetros paleoambientais da Lagoa Salgada, ainda se faz necessário uma melhor compreensão da história evolutiva da lagoa e dos parâmetros paleoambientais que influenciaram na sedimentação e na formação das estruturas estromatolíticas.

## **1.2 - Objetivos e finalidade**

O objetivo deste estudo é caracterizar as fácies sedimentares presentes na Lagoa Salgada, observadas tanto em estromatólitos como em testemunhos rasos de sondagem. Este trabalho busca auxiliar no entendimento dos aspectos que influenciaram a formação das estruturas microbiais e da sedimentação carbonática, e com isso contribuir para a compreensão da história evolutiva da lagoa.

## 2- MATERIAIS E MÉTODOS

### 2.1- Etapa de campo

Foram realizadas duas atividades de campo na lagoa, a primeira para reconhecimento da área de estudo em maio de 2012; e a segunda em maio de 2013, para descrição, registro fotográfico e coleta dos estromatólitos para análise em laboratório. As amostras de estromatólitos foram coletadas em superfície na margem sudoeste da Lagoa (Figura 1) com coordenadas geográficas: 21°55'18,11"S / 41°0'17,35"O, e possuem em média 20 centímetros de altura e 30 centímetros de comprimento. Também foram utilizadas neste estudo estromatólitos do acervo do Lagesed (Laboratório de Geologia Sedimentar – IGEO – UFRJ), coletados no mesmo local.



**Figura 1-** Margem sudoeste da Lagoa Salgada, destacando os estromatólitos em superfície.



A coleta dos testemunhos foi feita pelo Laboratório de Geologia Marinha (LAGEMAR – Universidade Federal Fluminense - UFF) e cedido ao Lagesed (Laboratório de Geologia Sedimentar – UFRJ) mediante a parceria no projeto Lagoas II (Caracterização estratigráfica, sedimentológica, geoquímica e de fácies orgânica das lagoas Salgada, Vermelha e Brejo do Espinho) financiado pela Petrobras S.A.

As sondagens foram realizadas por testemunhador à vibração em diferentes pontos do interior da lagoa (Figura 2). Foram coletados 11 testemunhos, os quais totalizam 13,57 metros. (Quadro 1).



**Figura 2-** Imagem de satélite da Lagoa Salgada, com a localização dos testemunhos de sondagem. (*Google Earth, 2013*)

**Quadro 1:** Testemunhos de sondagem e suas respectivas espessuras e coordenadas geográficas:

Testemunhos	Espessura (cm)	Latitude	Longitude
LS-01	122	21°54'37,37"S	41° 01'6,76"O
LS-02	143	21°54'30,20"S	41° 0'59,68"O
LS-03	76	21°54'18,35"S	41° 0'49,94"O
LS-04	100	21°54'7,70"S	41° 0'45,30"O
LS-09	100	21°54'39,00"S	41° 0'52,80"O
LS-10	140	21°54'46,30"S	41° 0'41,70"O
LS-11	59	21°54'50,71"S	41° 0'32,40"O
LS-12	89	21°55'4,90"S	41° 0'20,30"O
LS-13	144	21°55'15,40"S	41° 0'9,80"O
LS-14	186	21°55'24,01"S	41° 0'2,37"O
LS-15	198	21°55'36,40"S	40°59'52,80"O

## 2.2- Etapas laboratoriais

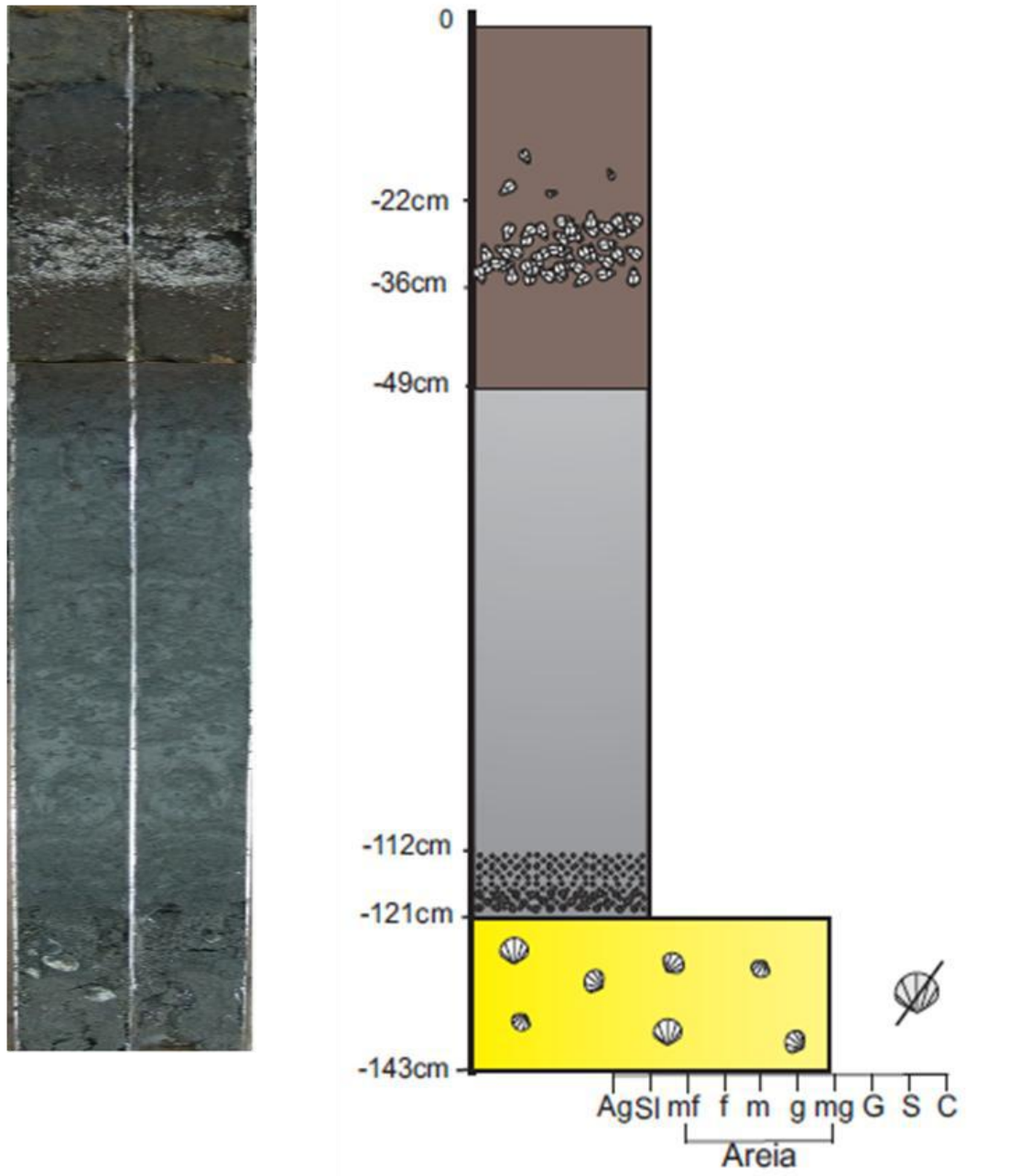
Com as amostras coletadas, a primeira etapa em laboratório consistiu em cerrar os estromatólitos para uma melhor observação de suas estruturas. Foram escolhidas 2 amostras de estromatólitos com feições morfológicas representativas (amostra 1 e amostra 2). Foi feita uma descrição macroscópica dos estromatólitos, onde foram definidas fácies sedimentares de acordo com suas características composicionais, morfológicas e texturais.

Após a coleta dos testemunhos e a obtenção pelo Lagesed, a primeira etapa consistiu em fotografá-los, e incluí-los no acervo fotográfico do laboratório (Figura 3). Posteriormente iniciou-se a etapa de descrição na escala de 1:1 utilizando lupa binocular onde foram descritos 11 testemunhos (LS-01, LS-02, LS-03, LS-04, LS-09, LS-10, LS-11, LS-12, LS-13, LS-14, LS-15) totalizando 13,57 metros de descrição. As descrições seguiram o método de análise de fácies (BORGHI, 2000).

Borghi (2000) define fácies sedimentares como uma massa de sedimento ou de rocha sedimentar caracterizada e distinguida das demais pela litologia, geometria estratal, estruturas sedimentares, petrotrama, cores, fósseis e por atributos direcionais. As fácies caracterizadas neste trabalho baseiam-se neste conceito, utilizando como parâmetros distintivos litologia, fósseis, textura, porosidade e cores. Para a definição de cores foi utilizada a tabela de Munsell.

Após a descrição e caracterização faciológica, foram confeccionados os perfis sedimentológicos dos testemunhos no software *CorelDraw* (Apêndice A).

# LS-02

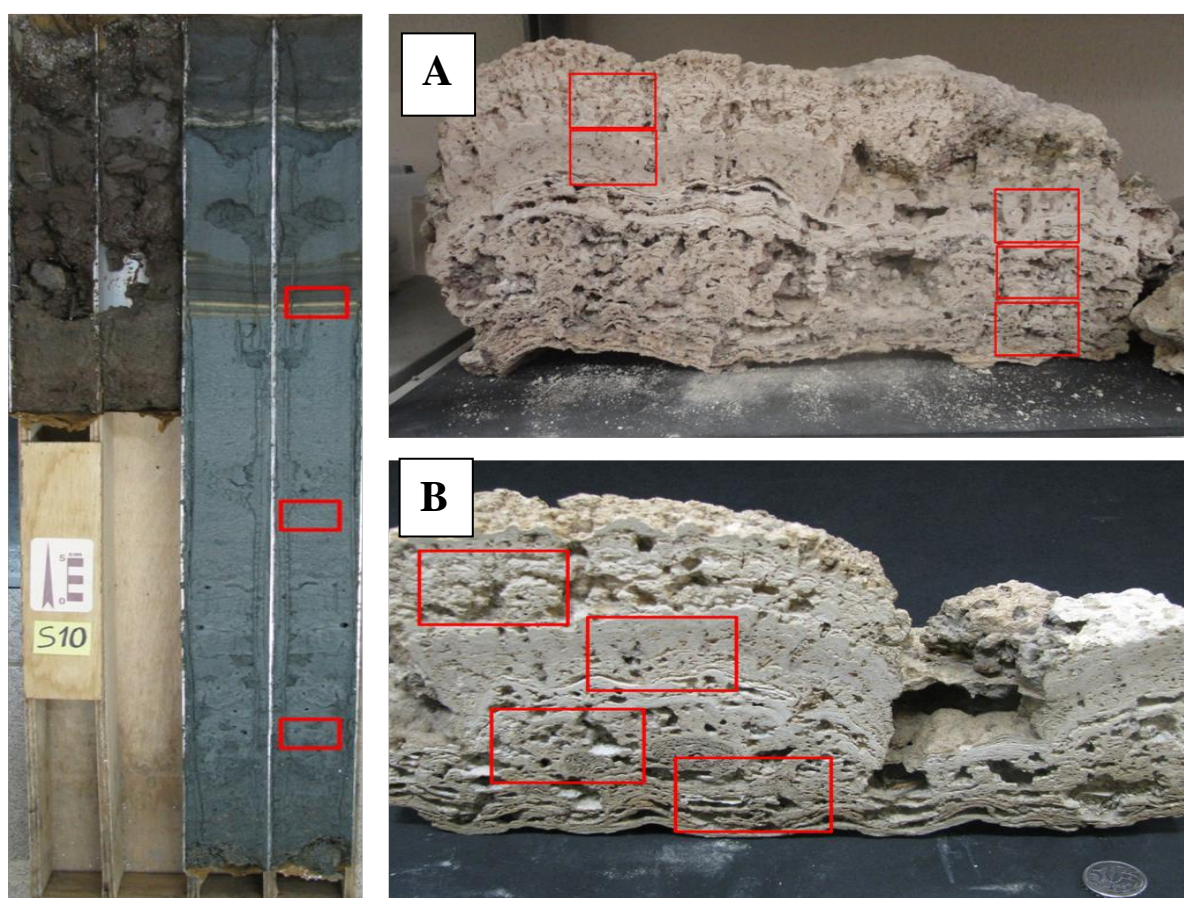


**Figura 3-** Testemunho de sondagem LS-02 e seu respectivo perfil.

Foram confeccionadas doze lâminas petrográficas no Laboratório de Laminação do Departamento de Geologia (UFRJ) e no BRGC - Schlumberger, sendo nove a partir das amostras de estromatólitos e três dos testemunhos, com o objetivo de observar as características microscópicas e definir as fácies (Figura 4).

A descrição petrográfica foi realizada em microscópio Zeiss (modelo Axioskope 40) por luz transmitida/polarizada e, para a obtenção das imagens utilizou-se o software *Axiovision*.

A porosidade dos estromatólitos da Lagoa Salgada foi estudada por Hayashi (2014), por meio de tomografia computadorizada. Visto que as amostras estudadas pelo autor possuem fácies correlatas as do presente trabalho, é possível assumir as mesmas características de porosidade. Os tipos de porosidade foram classificados de acordo com os termos propostos por Choquette e Pray (1970).



**Figura 4-** Posição das doze lâminas confeccionadas: três lâminas a partir do testemunho de sondagem LS-10 e nove lâminas das amostras de estromatólito. A- Amostra 1. B- Amostra 2.



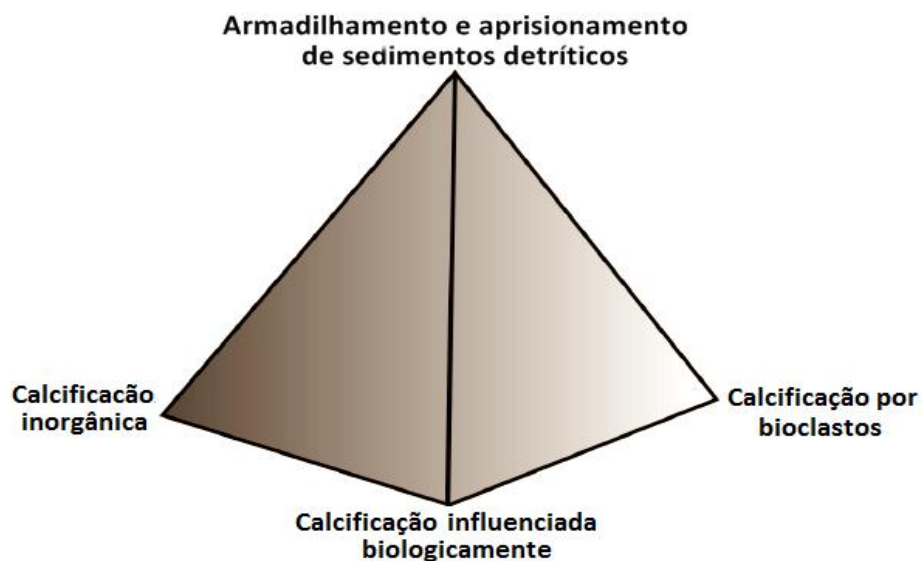
### 3- REVISÃO DA LITERATURA

#### 3.1- Contexto geomicrobiológico

##### 3.1.1- Microbialitos

O termo microbialitos foi definido por Burne e Moore (1987), como depósitos organossedimentares formados pela interação de comunidades microbianas com sedimentos de origem detrítica e/ou precipitação química. Englobam biofilmes, esteiras microbianas, estromatólitos, trombólitos e oncólitos. Ocorrem desde o Arqueano até o Recente em diversos tipos de ambientes, mais particularmente os aquáticos. Fatores como competição com os metazoários, parâmetros para litificação, substrato e evolução microbiana são os principais responsáveis pelo controle da abundância e preservação dos microbialitos (RIDING, 2000 apud IESPA, 2010).

Burne e Moore (1987) definiram quatro processos principais para a formação de microbialitos calcários (Figura 5).



**Figura 5-** Processos primários de mineralização envolvidos na gênese de microbialitos (modificado de BURNE e MOORE, 1987)

a) armadilhamento e aprisionamento de sedimentos detríticos – processo onde ocorre o armadilhamento e aprisionamento de sedimentos pelas cianobactérias, é controlado pela presença desses microorganismos e pela disponibilidade de sedimentos. É um importante processo para construções como os estromatólitos;

b) calcificação inorgânica – esse processo consiste na precipitação inorgânica de carbonato de cálcio, resultado da evaporação e perda de  $\text{CO}_2$  em águas saturadas, as comunidades microbianas auxiliam na estabilização e arquitetura das estruturas, geram depósitos de tufas, travertinos, etc.

c) calcificação influenciada biologicamente – neste caso os microorganismos influenciam diretamente nas condições ambientais do meio através de sua atividade metabólica, induzindo a precipitação química.

d) calcificação bioclástica – baseia-se num processo biológico onde o metabolismo produz uma estrutura mineralizada organizada com uma forma pré-determinada.

### 3.1.2- Estromatólitos

Descritos primeiramente por Kalkowsky (1908), os estromatólitos geraram diversas definições por vários autores ao longo dos anos devido à complexidade e a diversidade dessas estruturas. Segundo Awramik e Margulis (1974), estromatólitos são estruturas organossedimentares produzidas por armadilhamento e aprisionamento e/ou precipitação como resultado do crescimento e da atividade metabólica de organismos microbianos, principalmente das cianobactérias. Dois aspectos são sempre retratados nas definições de estromatólitos:



- a) a origem: biótica ou abiótica;
- b) a presença de laminação.

Para Kalkowky (1908), Hoffman (1969) e Krumbein (1983), os estromatólitos são estruturas laminadas e de origem microbial; segundo Awramik e Margulis (1974) são estruturas com origem microbial, mas não necessariamente laminada; já Semikhatov *et al.* (1979) definem estromatólitos como estruturas litificadas, laminadas e fixas, mas não necessariamente de origem microbial mesmo sua ocorrência sendo mais comum.

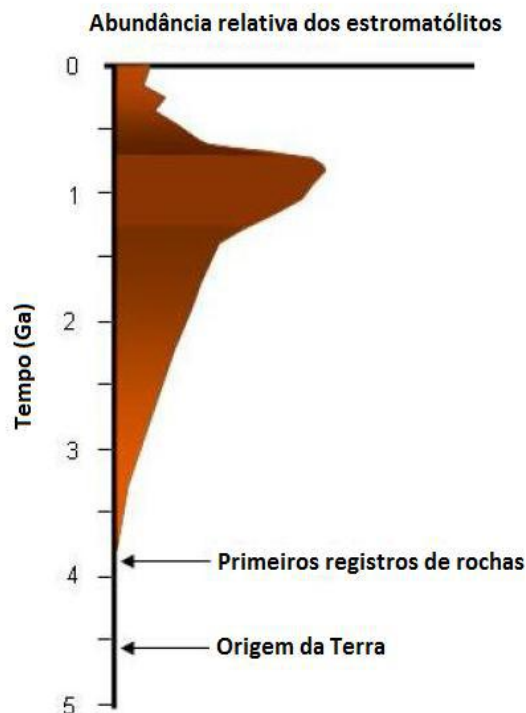
Os principais mecanismos responsáveis pela formação e crescimento dos estromatólitos são o armadilhamento e aprisionamento de grãos (*trapping and binding*) e a precipitação de minerais. Apesar de esses mecanismos serem conhecidos, entender os que transformam as esteiras microbiais com seus grãos e minerais precipitados em estromatólitos não é muito preciso (COURA, 2011).

Hofmann (1973) diz que mudanças relacionadas aos aspectos morfológicos e nas microestruturas dos estromatólitos ao longo do tempo geológico refletem alterações na biota e no ambiente, e resumiu as principais condições para a formação de um estromatólito citadas a seguir:

- a) a presença de um substrato em que os estromatólitos possam se desenvolver;
- b) um sistema aberto contendo água;
- c) presença de nutrientes para a realização dos processos metabólicos;
- d) fonte de energia para facilitar a atividade metabólica;
- e) uma população de algas ou microorganismos bentônicos que colonizem o substrato;
- f) material carbonático que possa ser aprisionado e aglutinado ou precipitado que permita a estrutura crescer e ser preservada;

- g) um ritmo, tanto periódico quanto episódico, que fornece a descontinuidade no processo de acreção e desenvolvimento das lâminas (esse ritmo pode ter diversas origens, como astronômica, climática, geológica ou biológica);
- h) litificação e soterramento permitindo a preservação do registro.

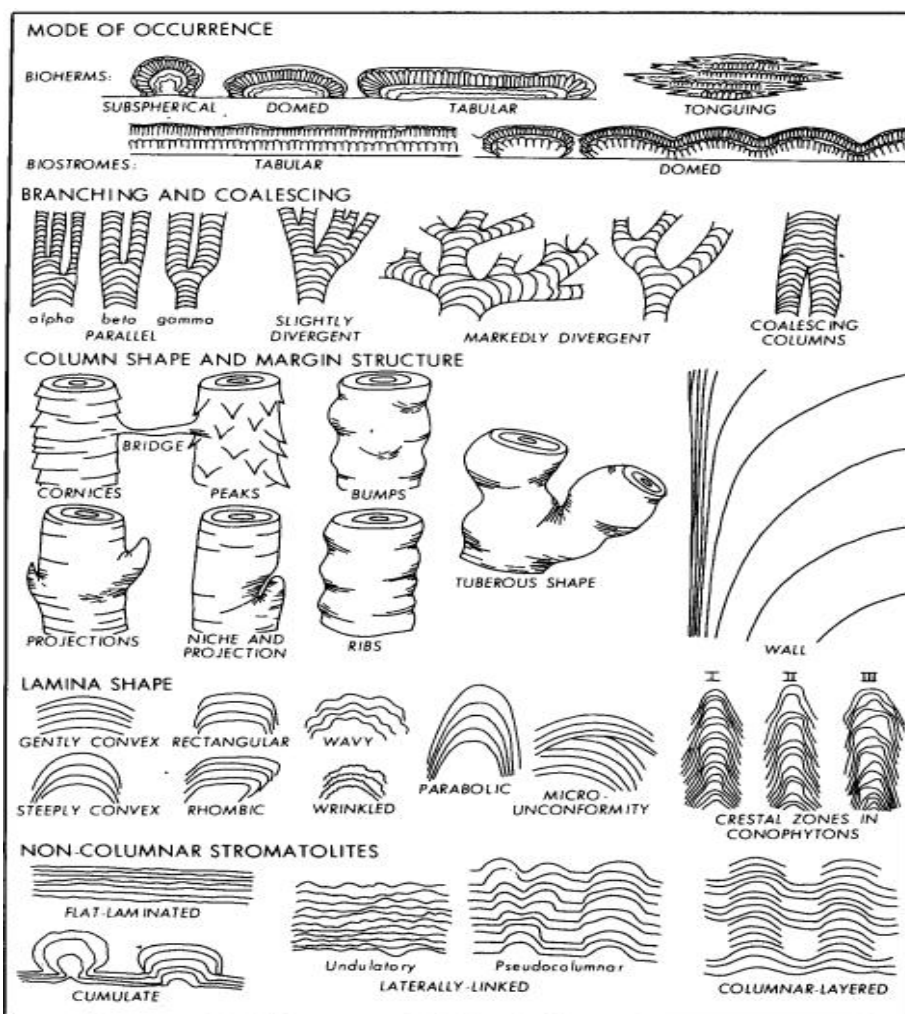
Os estromatólitos têm um registro geológico que abrange do Arqueano ao Recente com grande desenvolvimento durante o Proterozoico. No Arqueano há pouco registro, o mais antigo tem cerca de 3,5 Ga, os exemplares dessa era são indiscutivelmente produzidos biologicamente. Já no Proterozoico os estromatólitos ocorrem em abundância e com uma ampla variedade de fácies, com registros em ambientes marinhos e lacustres. (HOFMANN, 1973; STAL, 2000). A abundância de estromatólitos foi diminuída drasticamente do Proterozóico para o Recente. Seu declínio pode estar associado ao surgimento e competição com organismos eucariontes e/ou redução da litificação (STAL, 2000) (Figura 6).



**Figura 6-** Gráfico mostrando a abundância relativa de estromatólitos ao longo do tempo geológico (modificado de STAL, 2000).

A distribuição geográfica dessas estruturas é ampla, existindo registro em todos os continentes. Segundo Srivastava (2004), os estromatólitos recentes são observados principalmente em locais como Austrália, Golfo do México, Bahamas, Golfo Pérsico, Índia e Brasil.

A classificação e a descrição taxonômica dos estromatólitos ainda são um tema controverso e por se tratar de um material multidisciplinar (abordado por diversas áreas como a paleontologia, sedimentologia, geobiologia, etc.), os estromatólitos podem ser classificados dependendo do tipo de abordagem da pesquisa. Destacam-se para esse trabalho as classificações petrográficas proposta por Hofmann (1969) e Preiss (1976), que utilizam critérios como o modo de ocorrência (biohermas, biostromas, corpos tabulares, etc.), o arranjo e forma das colunas e das laminações (Figura 7).



**Figura 7-** Representação ilustrativa dos critérios propostos por Preiss (1976) para classificação dos estromatólitos

De modo geral, o padrão de crescimento vertical de um estromatólito consiste de uma base laminada plana seguida por um crescimento dômico e por formas ramificadas, refletindo os estágios de colonização e diversificação do bioherma e ainda, condições de raseamento ou aprofundamento com aumento ou diminuição da energia e variação do influxo de detritos (ALTERMANN, 2008 apud COURA, 2011).

### 3.2- Contexto geológico

#### 3.2.1- Bacia de Campos

A Bacia de Campos está localizada no litoral norte do estado do Rio de Janeiro e a sul do estado do Espírito Santo. Possui uma área de aproximadamente 100.000km<sup>2</sup>. É limitada pelo arco de Vitória, a norte, e pelo arco de Cabo Frio a sul. É a bacia brasileira mais prolífica, alojando mais de 90% das reservas petrolíferas brasileiras atuais (WINTER *et al.*, 2007).

De acordo com Dias *et al.* (1990), a bacia de Campos é uma bacia típica de margem divergente, coincidindo nos seus aspectos gerais com a história evolutiva das demais bacias da costa leste brasileira, portanto relacionado a ruptura crustal do paleocontinente Gondwana. No entanto apresenta algumas características na sua evolução tectono-sedimentar que a torna singular em termos de potencial petrolífero.

Os mesmos autores individualizaram três grandes unidades com características tectono-sedimentares distintas: a) sequência continental, englobando os basaltos da Formação Cabiúnas e parte dos sedimentos continentais da Formação Lagoa Feia, afetados pela sequência rifte; b) sequência transicional, caracterizada pela disposição dos evaporitos e relativa quiescência tectônica; c) megassequência marinha caracterizada pela deposição marinha franca (carbonática no início e predominantemente siliciclástica posteriormente), afetada por intensa tectônica adiastrófica.

##### a) Sequência Continental (Fase Rifte) – Neocomiano:

Essa sequência possui rochas vulcânicas como os basaltos da Formação Cabiúnas e rochas clásticas associadas à deposição dos sedimentos terrígenos e carbonáticos

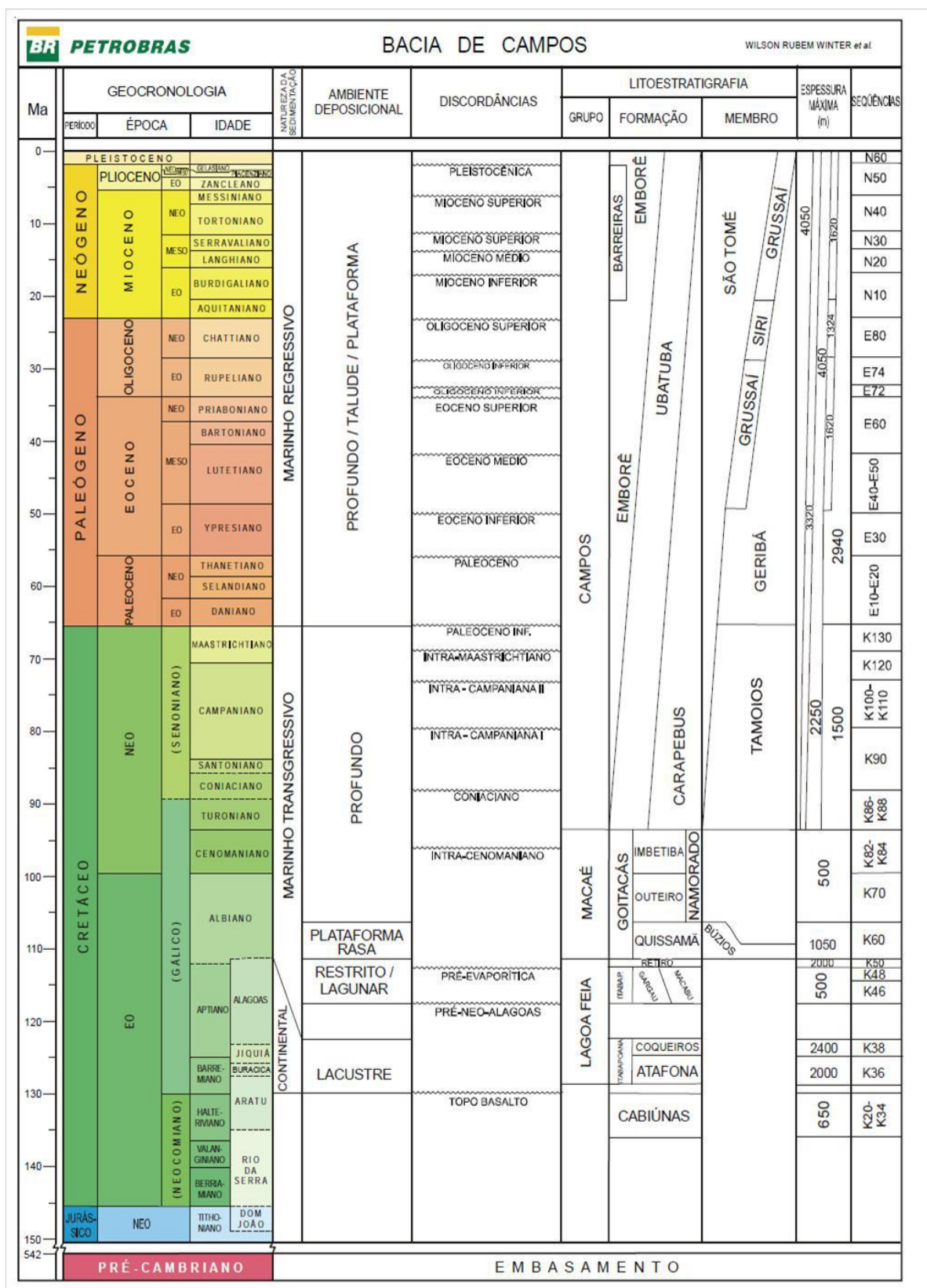
correspondentes as rochas da Formação Lagoa Feia, que são afetadas pelo tectonismo distensional durante a fase de rifteamento. Foi produzido um sistema de *rift valleys* alongados na direção SW - NE desenvolvendo horsts, grabens e hemi-grabens, limitados por falhas sintéticas e antitéticas.

b) Megassequência Transicional (Andar Alagoas):

Após um importante evento erosivo regional, houve a deposição dos sedimentos dessa sequência. Tectonicamente o ambiente foi pouco atuante, ocorrendo reativação de falhas somente em caráter local. O pacote sedimentar dessa idade é marcado pela transição da deposição de sedimentos de origem continental para os de origem marinha. Ocorre expressiva sedimentação aluvial de conglomerados e lamitos que gradam lateralmente à sedimentação carbonática, representada por carbonatos nodulares e estromatolíticos. O topo é caracterizado pela deposição de rochas evaporíticas (compostas essencialmente por halitas e anidritas), que recobrem espessa seção clástica.

c) Megassequência Marinha – Albiano ao Recente:

Essa megassequência é subdividida em três sequências: Sequência Carbonática Nerítica Rasa (Albiano); Sequência Oceânica Hemipelágica (Albiano - Paleoceno) e Sequência Oceânica Progradante (Eoceno Médio/Recente). Nessa megassequência ocorre uma fase inicial de mar raso com sequências carbonáticas que gradam para rochas siliciclásticas de águas profundas ao final do Cretáceo. Nesse período houve intensa atividade halocinética, além da formação de estruturas adiastróficas.



**Figura 8-** Diagrama estratigráfico da Bacia de Campos (WINTER *et al.*, 2007)

### 3.2.2- Evolução do Complexo Deltaico do Rio Paraíba do Sul

O rio Paraíba do Sul nasce na região entre as serras do Mar e da Bocaina, resultando da junção dos rios Paraibuna e Paraitinga no estado de São Paulo. Possui cerca de 950 km de extensão e uma bacia hidrográfica de aproximadamente 45.000 km<sup>2</sup> estendendo-se pelos estados de São Paulo, Minas Gerais e Rio de Janeiro. Na sua desembocadura o rio Paraíba do Sul desenvolve uma planície sedimentar quaternária na forma de um lobo deltaico de 60 x 120 km. A região do complexo deltaico possui uma área de aproximadamente 2.500 km<sup>2</sup> e ocupa 600 km<sup>2</sup> da porção terrestre da Bacia de Campos. (MARTIN et al. 1984; SILVA, 1987).

Na porção norte do estado do Rio de Janeiro foram individualizadas três províncias geomorfológicas, pelo relevo e pela drenagem: Região Serrana, os Tabuleiros Terciários e a Planície Quaternária (onde está situada a Lagoa Salgada).

A Planície Quaternária estende-se desde a cidade de Macaé, ao sul, até a localidade de Guaxindiba, ao norte. Possui uma superfície bastante plana, com altitude máxima de aproximadamente 12 metros e inclina-se suavemente rumo ao oceano. Esta área sofreu intensa ação antrópica. Sobre esta planície foram formadas diferentes tipos de lagoas e lagunas, dentre elas está a Lagoa Salgada, que se situa entre cristas praias holocênicas na região do Cabo de São Tomé. De acordo com Martin *et al.* (1984), através de mapeamento detalhado e datações de amostras pelo método radiocarbono, foi possível constatar que a planície costeira do rio Paraíba do Sul possui idades parcialmente pleistocênicas (após 120.000 anos A.P) e holocênicas (após 7.000 anos A.P). Os mesmos autores propõem várias fases evolutivas para essa planície, descritas de maneira resumida a seguir (Figura 9).

Na primeira fase o nível relativo do mar seria superior ao atual, cerca de 8 metros  $\pm$  2m, há 120.000 anos A.P., e correspondente ao último nível de transgressão. Nesta fase foram desenvolvidos numerosos corpos lagunares. A planície costeira ainda não existia e todos os

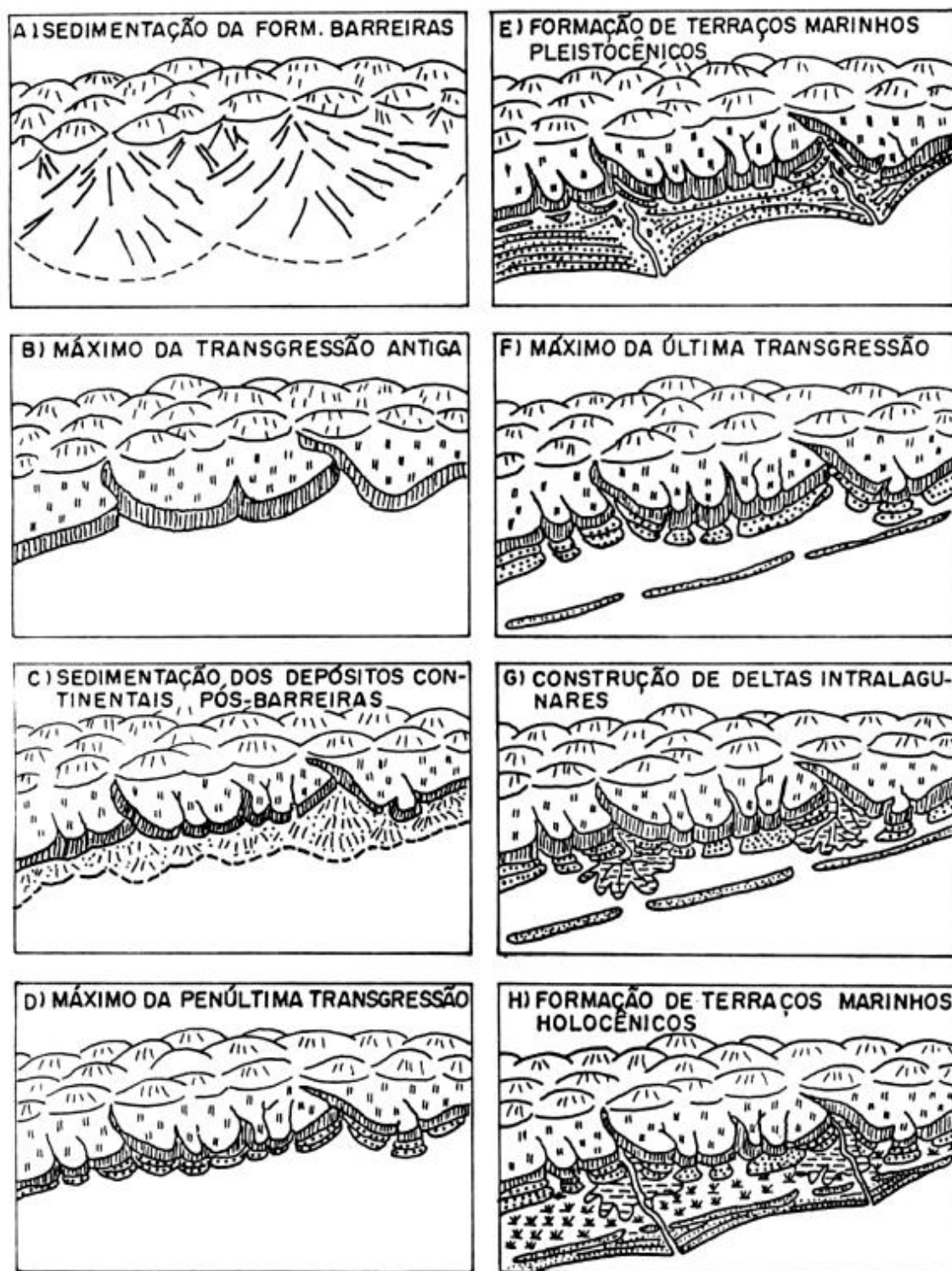


vales entalhados tanto nos sedimentos da Formação Barreiras quanto nas rochas do embasamento cristalino pré-cambriano foram invadidos pelo mar, formando numerosas lagoas. A ingressão máxima do mar é demarcada por uma linha de falésias entalhadas nos sedimentos da Formação Barreiras.

Na segunda fase o nível relativo do mar teria diminuído, criando condições para a construção de terraços arenosos recobertos por cordões litorâneos encostados na Formação Barreiras.

Na terceira fase há cerca de 18.000 anos A.P. houve uma rápida ascensão do nível relativo do mar, causando erosão de grande parte da porção de cordões litorâneos pleistocênicos. Assim, a partir de 7.000 anos A.P., iniciou-se a formação da planície costeira holocênica. As áreas mais baixas da Formação Barreiras e vales escavados nos terraços pleistocênicos foram invadidos, formando-se lagunas de formato alongado junto à costa.

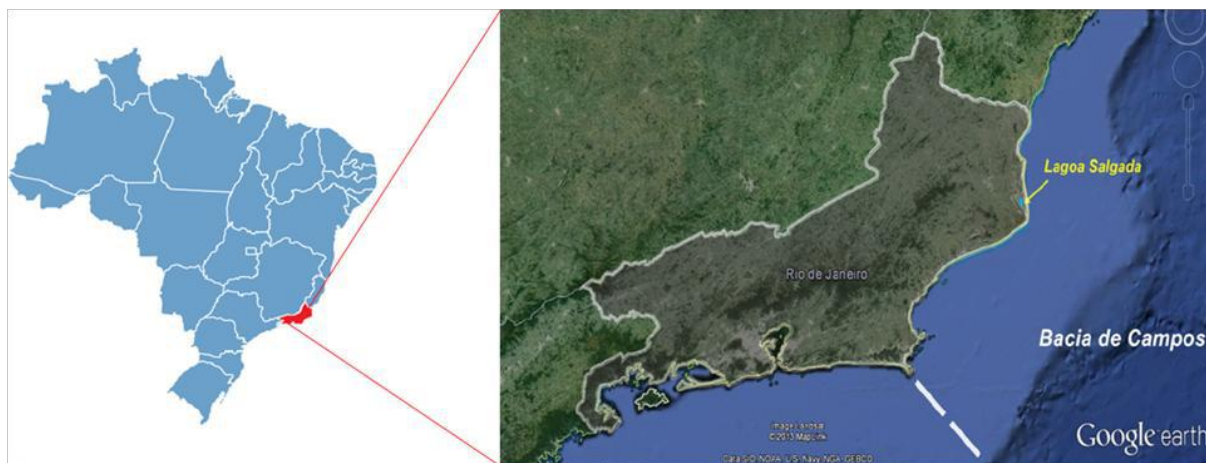
Na quarta fase que ocorre de 5.100 anos A.P. em diante, houve um novo abaixamento relativo do nível do mar, onde ocorreu transferência de areias da plataforma continental interna para a praia. Estas areias foram retrabalhadas pelas correntes de deriva litorânea, contribuindo para a construção dos terraços holocênicos. Paralelamente, ocorreu o ressecamento parcial de uma extensa lagoa, cujo remanescente atual é a Lagoa Feia, não apenas pela queda do nível relativo do mar, mas também pelo aporte fluvial do rio Paraíba do Sul que, nessa época, despejava seus sedimentos na paleolagoa, que passou a constituir um grande delta.



**Figura 9-** Modelo dos estágios de evolução da sedimentação litorânea por mecanismos eustáticos e paleoclimáticos (MARTIN et al. 1984).

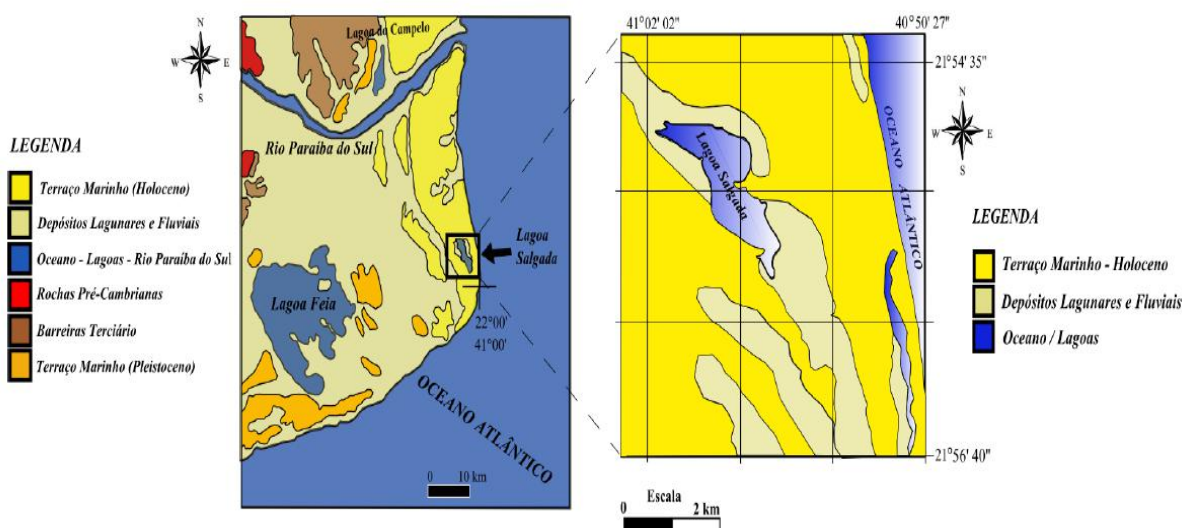
### 3.2.3- Lagoa Salgada

A Lagoa Salgada está localizada no sudeste do Brasil, mais precisamente no litoral norte do estado do Rio de Janeiro, entre os municípios de Campos dos Goytacazes e São João da Barra nas coordenadas geográficas ( $41^{\circ}00'30''$  W e  $21^{\circ}54'10''$  S) (Figura 10).



**Figura 10-** Imagem de satélite mostrando a localização da Lagoa Salgada no estado do Rio de Janeiro (*Google Earth*, 2013).

A Lagoa Salgada está localizada na porção emersa da Bacia de Campos e faz parte do Complexo Deltaico do Rio Paraíba do Sul (Figura 11), está posicionada em uma planície arenosa formada por cristas praias holocênicas, ao sul da foz do rio Paraíba do Sul. A lagoa possui eixo principal NW–SE apresentando comprimento máximo de 8,6 km e largura de 1,9 km. Seu espelho d’água possui cerca de 4,5 km de comprimento e 1,2 km de largura, em sua porção central. A lagoa quando cheia apresenta lâmina d’água em torno de um metro, mas pode encontrar-se completamente seca (SRIVASTAVA, 2002).



**Figura 11-** Mapa geológico da região norte do estado do Rio de Janeiro destacando a Lagoa Salgada (retirado de CATALDO, 2011 – modificados de MARTIN *et al.* 1993 e SRIVASTAVA, 2002).

A lagoa está situada em uma região caracterizada por um clima tropical com fortes ventos nordeste, embora ventos na direção sudoeste também sejam frequentes. Entre os meses de fevereiro a abril predomina a baixa pluviosidade provocando o rebaixamento ou até a ausência da lâmina da água, entretanto, entre os meses de agosto e setembro, devido à alta pluviosidade, a lagoa apresenta-se cheia.

Os parâmetros físicos da Lagoa (temperatura, salinidade, taxa de solubilidade e pH) foram aferidos nos últimos anos por diversos autores (SRIVASTAVA, 2002; IESPA, 2010 e SILVA e SILVA, 2013) tendo os seguintes valores (Quadro 2):

**Quadro 2:** Parâmetros físicos da Lagoa Salgada

	Temperatura (°C)	Salinidade (‰)	Taxa de O <sub>2</sub> dissolvido (mg/L)	pH
Svristava (2002)	28 – 31 °C	63,5 ‰	3,2 -3,6 mg/L	8,7 – 9,7
Iespa (2010)	26,1 – 29,5 °C	42,3‰	3 mg/L	8,2
Silva e Silva (2013)	27,1°C	64,7‰	3,7 mg/L	8,74

Segundo Martin *et al.* (1993), a formação da Lagoa Salgada ocorreu entre 3.900 a 3.600 anos A.P., após uma fase de erosão da planície costeira do rio Paraíba do Sul e a subida relativa do nível do mar. Isto teria ocorrido após os deslocamentos da barreira arenosa rumo ao continente, em condições hidrodinâmicas geradas pelas ondas da área ao sul do cabo de São Tomé. A lagoa sofreu a passagem de um ambiente marinho para lagunar, o que foi confirmado pela análise da microfauna de foraminíferos em testemunhos de sondagem (RODRIGUES *et al.*, 1981).

Lemos (1996) caracterizou duas sequências para a lagoa. Uma sequência marinha, composta por fácies de areia média e grossa e uma sequência lagunar, composta pelas fácies de lama plástica cinza claro com dois a três níveis de lentes calcárias, lama com grãos carbonáticos, lama orgânica e lama com microgastrópode.

A Lagoa Salgada tem como característica marcante a presença de estruturas biogênicas como esteiras microbianas e estromatólitos, produzidas por processos sedimentológicos e biológicos, relacionados ao desenvolvimento e crescimento de comunidades microbianas

bentônicas. Nas margens da lagoa, em porções periodicamente submersas é comum a ocorrência de estromatólitos dos tipos domais, estratiformes e colunares, além de micro-oncólitos e trombólitos. Essa característica a torna um importante sítio científico, onde têm sido desenvolvidas diversas pesquisas com o intuito de melhor compreender essas estruturas e os ambientes nos quais elas se desenvolvem.

## **4- RESULTADOS**

### **4.1- Caracterização faciológica**

Foram definidas nove fácies, cinco em testemunhos e quatro em estromatólitos (Quadro 3).

**Quadro 3:** Síntese das fácies sedimentares da Lagoa Salgada

	<b>FÁCIES</b>	<b>ASPECTOS DIAGNÓSTICOS</b>	<b>INFORMAÇÕES PALEOAMBIENTAIS</b>
<b>TESTEMUNHOS DE SONDAGEM</b>	<b>Ab (Areia bioclástica)</b>	- Grãos arenosos de quartzo - Bioclastos de bivalvíos	- Fase marinha
	<b>La (Lama arenosa)</b>	- Material lamoso carbonático/ terrígeno. - Composição biótica variada.	- baixa pluviosidade - intensa evaporação - comunicação restrita com o mar
	<b>Bi (Biolaminito)</b>	- Intercalações de esteiras microbianas e CaCO <sub>3</sub>	- clima seco - baixa pluviosidade - intensa evaporação - atividade biológica
	<b>Lo (Lama Orgânica)</b>	- Material lamoso terrígeno com presença de microgastrópodes.	- Sedimentação terrígena - Lagoa sem comunicação direta com o mar
	<b>Lg (Lama com acumulação de microgastrópodes)</b>	- Lama com acumulação de microgastrópodes ( <i>Heleobia australis</i> )	- Diminuição de salinidade - Baixa disponibilidade de alimentos
<b>ESTROMATÓLITOS</b>	<b>1</b>	- Laminações espessas e contínuas; - Bioclastos e grãos terrígenos;	- Corpo em comunicação com o mar - Clima seco
	<b>2</b>	- Porosidade (24%) - Bioturbação (tubos de serpulídeos) - Ausência de laminações - Presença de grãos de quartzo e bioclastos	- Corpo em comunicação com o mar - Turbulência nas águas
	<b>3</b>	- Laminações finas e crenuladas/ colunas estromatolíticas. - Porosidade (4%)	- Aumento de salinidade - Águas calmas
	<b>4</b>	- Laminações finas e crenuladas/ colunas estromatolíticas. - Alta porosidade/ dissolução - Bioturbação (tubos de serpulídeos)	- Clima úmido - Circulação de água restrita - Lagoa Fechada

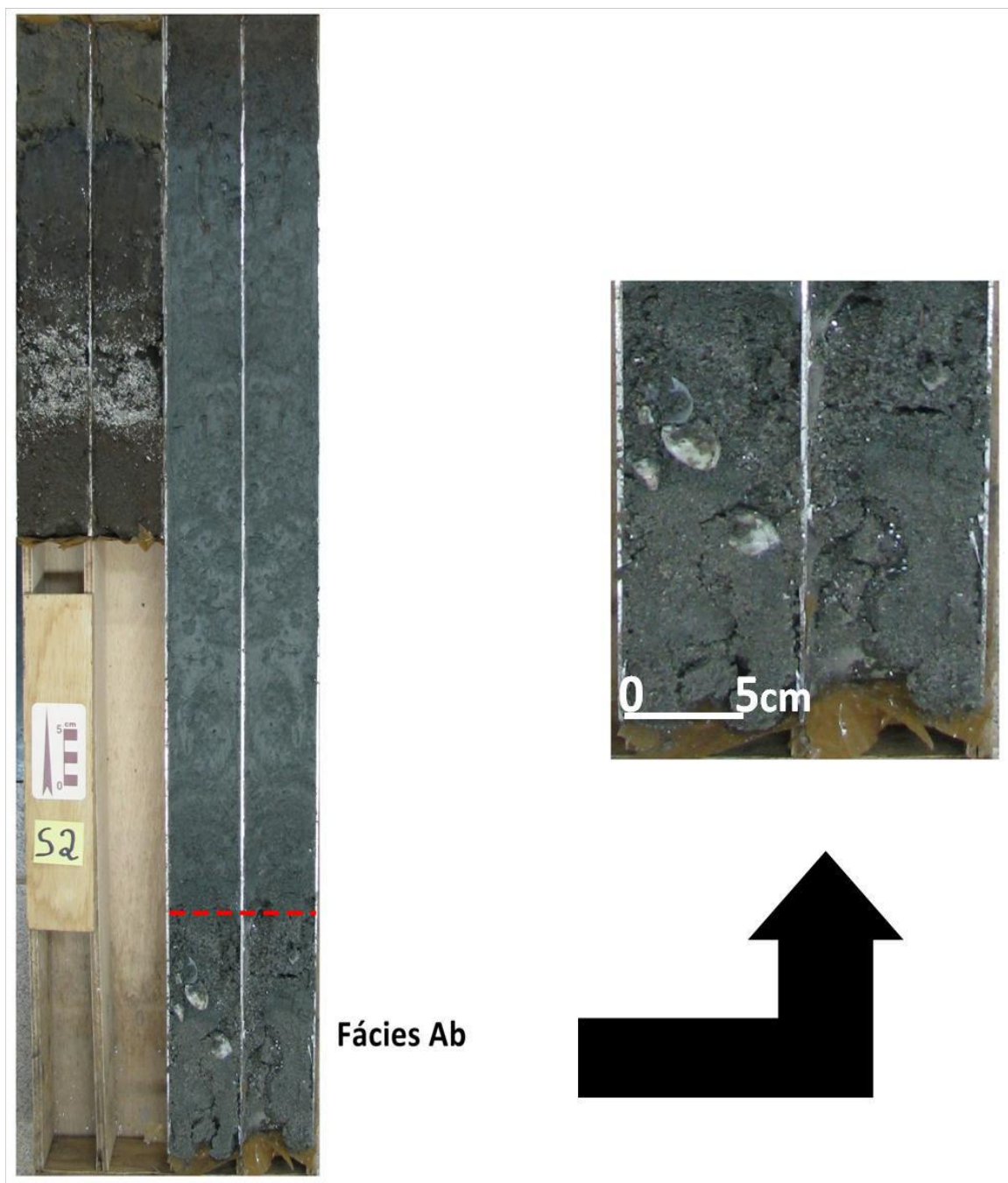


## **4.2- Testemunhos de sondagem**

Foram descritos onze testemunhos de sondagem totalizando 13,57 metros de descrição. A descrição foi realizada na escala 1:1, utilizando lupa binocular. Nas descrições, foram observados aspectos texturais, composicionais e estruturais. Foram caracterizadas cinco fácies (Ab, La, Bi, Lo e Ag).

### **4.2.1- Fácies Ab (Areia bioclástica)**

A fácies Ab caracteriza-se por sedimentos arenosos com presença de bioclastos. Os grãos são de composição quartzosa, subarredondados a subangulosos, com granulação variando de muito grossa a grossa. Os bioclastos são constituídos por bivalvíos e apresentam valvas fragmentadas ou preservadas. A deposição destes sedimentos está associada a tração e ação de corrente. Esta fácies foi reconhecida em quatro testemunhos (LS-02 (Figura 12), LS-04, LS-10, LS-11) posicionada estratigraficamente na base dos testemunhos, constituindo o substrato da lagoa (cristas praias).

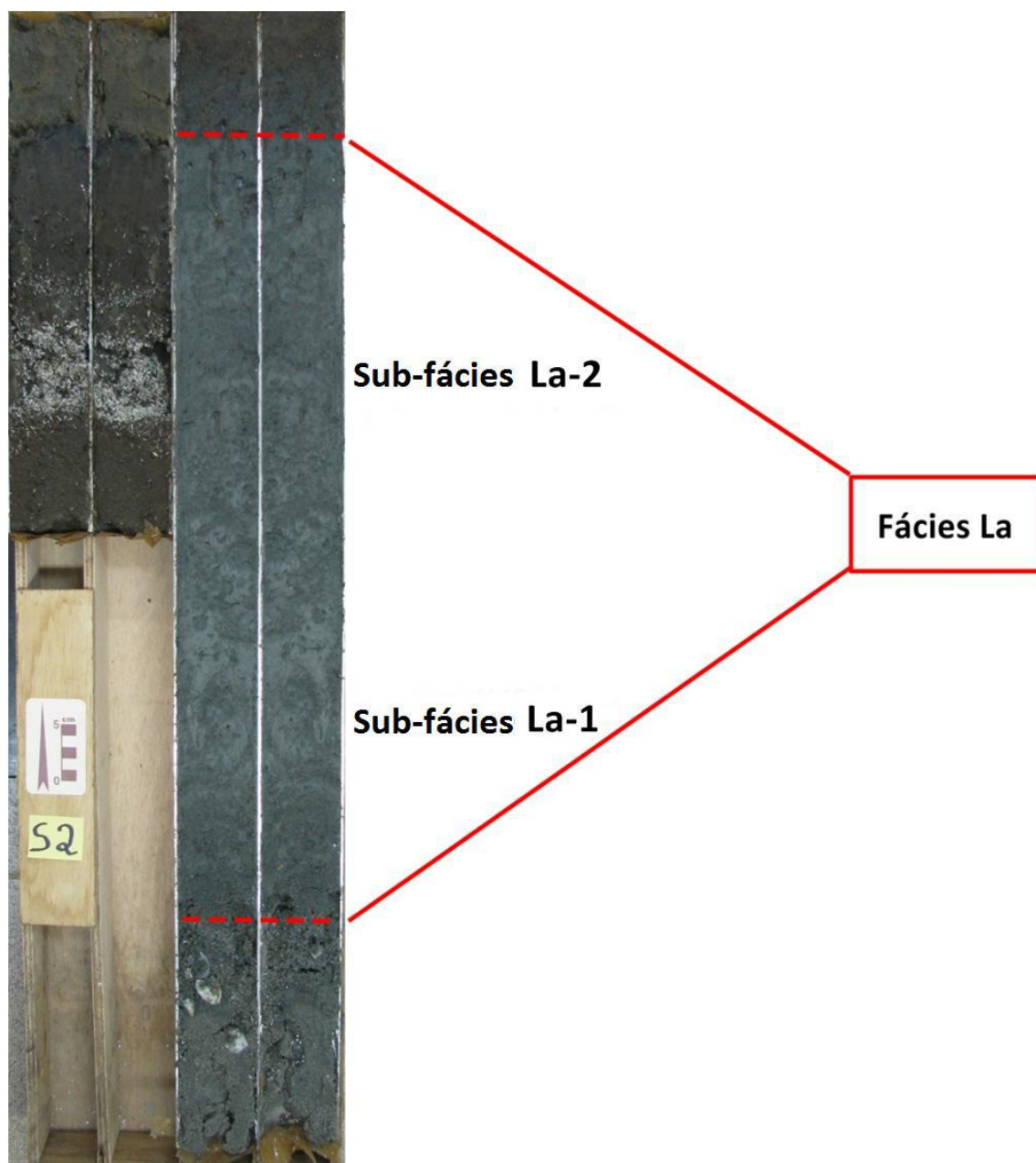


**Figura 12:** Testemunho LS-02 destacando a parte basal onde está localizada a fácies Ab. No detalhe é possível reconhecer as conchas de bivalvíos no interior da camada arenosa.

#### 4.2.2- Fácies La (Lama arenosa)

Esta fácies é caracterizada macroscopicamente por um material lamoso de cor cinza (N5- de acordo com a tabela de Munsell), constituído por mistura de carbonatos e terrígenos, e apresenta grãos na fração areia de quartzo, feldspato e mica. A fração arenosa é mal selecionada e apresenta clastos subangulosos a subarredondados e fragmentos de bioclastos (microgastrópodes e ostracodes). Esta fácies registra aumento da fração arenosa em relação à lamosa em profundidade e não apresenta estruturas sedimentares. A deposição dos sedimentos correspondentes a fácies La é associada a decantação dos sedimentos finos e tração de grãos arenosos.

A fácies La é a fácies predominante nos testemunhos descritos. Esta fácies possui a maior espessura relativa e representa uma importante fase de sedimentação na história evolutiva da lagoa, onde a paleolaguna teria comunicação restrita com o mar.



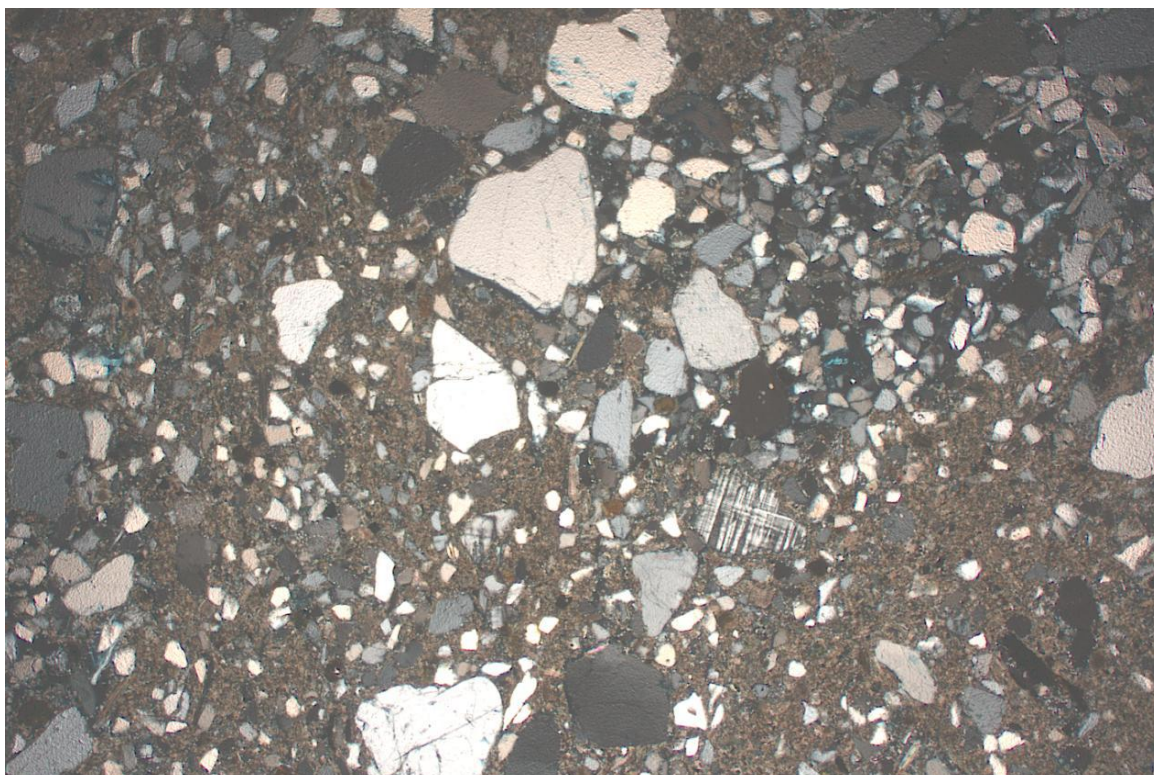
**Figura 13:** Testemunho LS-02 mostrando a fácies La e a subdivisão desta em duas sub-fácies (La-1 e La-2).

Foram confeccionadas duas lâminas petrográficas deste intervalo, nas quais foi possível reconhecer características texturais distintas e assim subdividi-lo em duas subfácies: a) La-1 e b) La-2.

#### a) Subfácies La-1

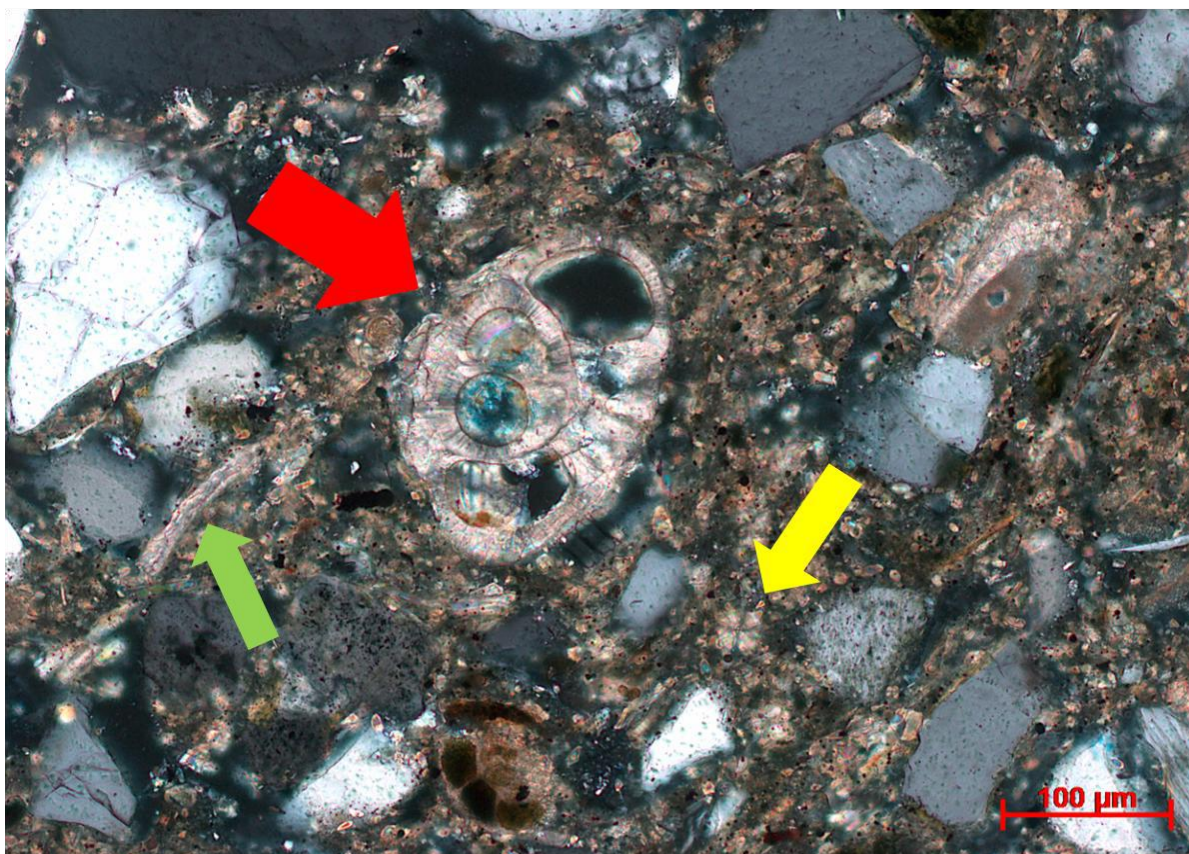
A subfácies La-1 apresenta como característica a abundância de grãos siliciclásticos e uma matriz com grande variedade de composição biótica. A fração arenosa é composta principalmente por grãos de quartzo, porém também se observa outros minerais como ortoclásio, microclina, e anfibólio. De modo geral são grãos mal selecionados, subangulosos a subarredondados e com tamanho variando de areia muito grossa a fina (Figura 14).

A fração lamosa é de composição carbonática e terrígena. Destaca-se a diversidade de organismos que a compõem: foram reconhecidos foraminíferos bentônicos e planctônicos, nanofósseis calcários (ascídias), equinóides e fragmentos de bivalves (Figuras 15 e 16).

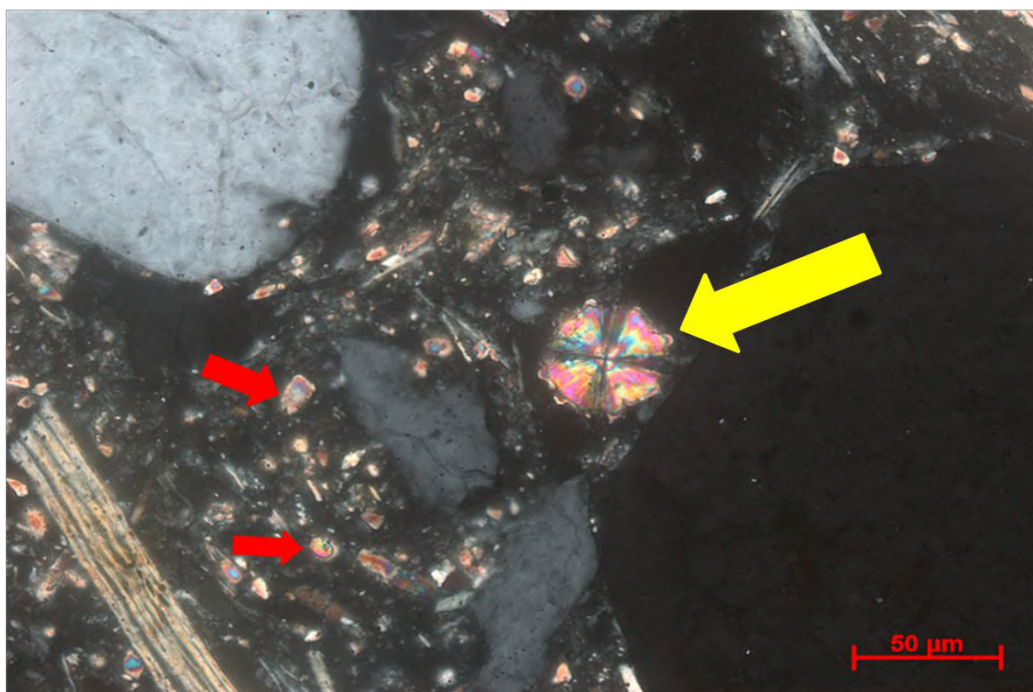


**Figura 14:** Fotomicrografia em nicois cruzados do testemunho LS-10, na profundidade de 130 cm mostrando a textura da subfácies La-1. Observar o mal selecionamento dos clastos e sua maior proporção com relação a matriz.





**Figura 15:** Fotomicrografia em nicois cruzados do testemunho LS-10, na profundidade de 130 cm. Observar a diversidade de organismos. Seta vermelha indicando foraminífero; seta amarela mostrando as ascídias, e a seta verde indicam fragmentos de bivalvíos.



**Figura 16:** Fotomicrografia em nicois cruzados do testemunho LS-10, na profundidade de 130 cm. A seta amarela destaca o nanofóssil calcário (ascídias), as setas vermelhas indicam fragmentos desses nanofósseis.



## b) Subfácies La-2

A subfácies La-2 assemelha-se a subfácies La-1 em parâmetros composicionais embora tenha aspectos texturais distintos. Esta subfácies apresenta uma maior proporção de lama onde é observada uma grande quantidade e diversidade de organismos. Os grãos siliciclásticos que compõem a fração arenosa são de quartzo, ortoclásio, microclina e anfibólio. Esses grãos são em geral mal selecionados, subangulosos a subarredondados com tamanho variando de areia grossa a fina (Figura 17).

A fração lamosa é de composição carbonática e terrígena. Os organismos que a compõem são: foraminíferos bentônicos e planctônicos, ascídias e fragmentos de bivalvíos. Através da microscopia é possível concluir que os organismos presentes são a principal fonte de carbonato de cálcio que compõem esta fração, como formadores diretos através de sua precipitação ou através da dissolução de suas carapaças (Figuras 18 e 19).

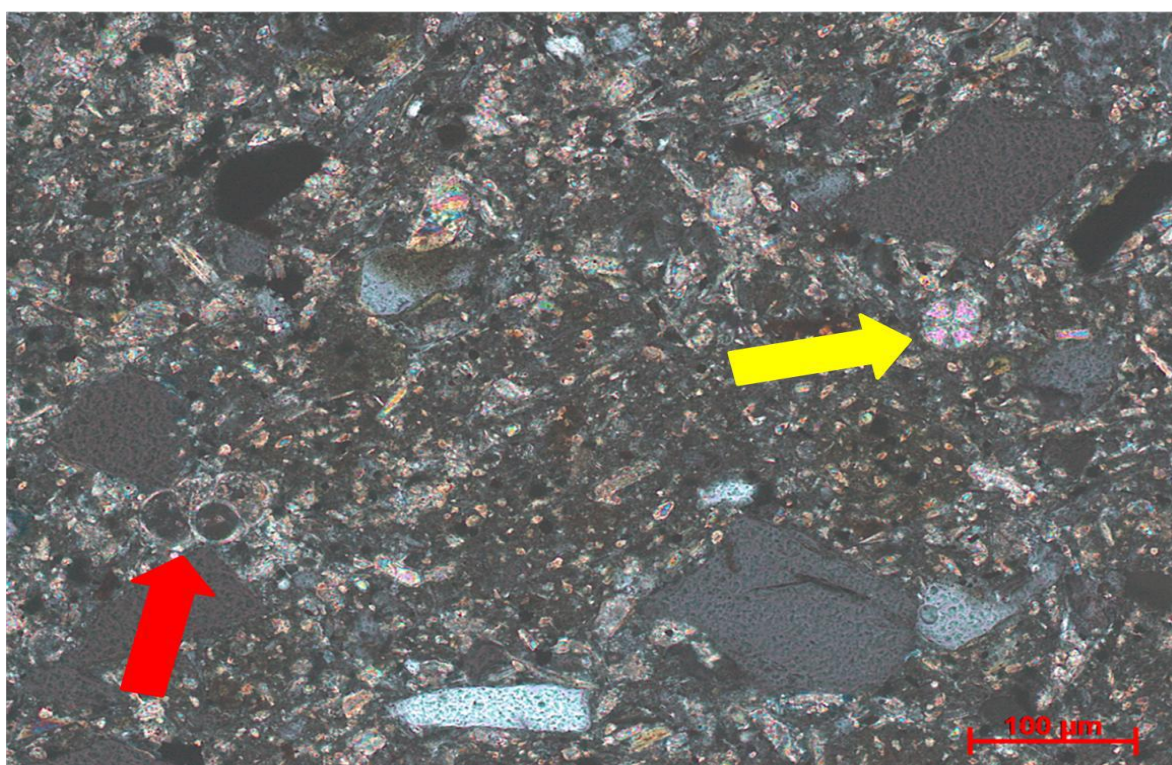


**Figura 17:** Fotomicrografia em nicois cruzados do testemunho LS-10, na profundidade de 105 cm. Observar a textura da subfácies La-2, presença de lama carbonática/terrígena e grãos de quartzo mal selecionados.





**Figura 18:** Fotomicrografia em nicois cruzados do testemunho LS-10, na profundidade de 105 cm. As setas em vermelho indicam fragmentos de conchas de bivalves. Destaque para o mal selecionamento dos grãos de quartzo.



**Figura 19:** Fotomicrografia em nicois cruzados do testemunho LS-10, na profundidade de 105 cm. A seta vermelha indica um foraminífero bentônico e a seta amarela indica uma ascídia (nanofóssil calcário).

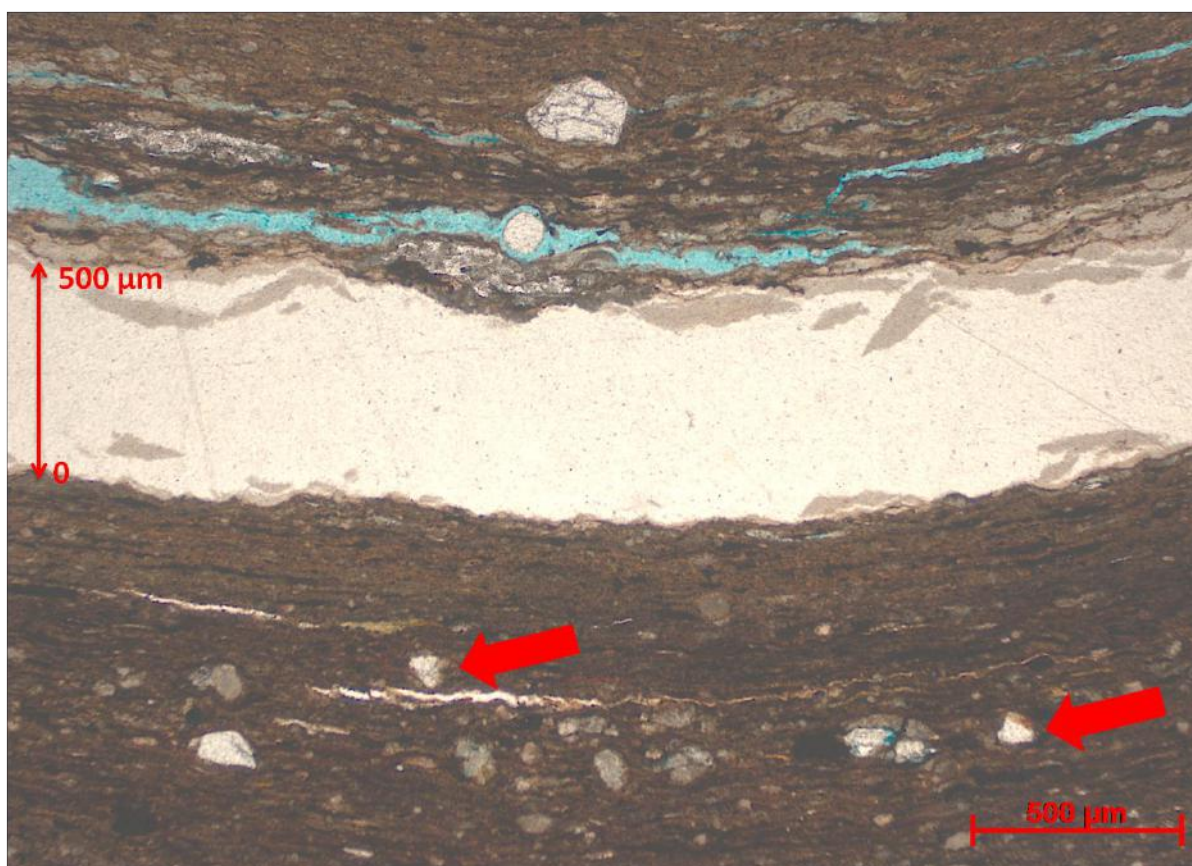


#### 4.2.3- Fácies Bi (Biolaminito)

A fácies Bi foi observada em quatro testemunhos (LS-10, LS-11, LS-12 e LS-13), e é caracterizada por intercalações milimétricas de esteiras microbianas de cor verde musgo e carbonato de cálcio de cor branca (Figura 20). Essas intercalações podem formar lâminas onduladas, nas quais é possível observar ao microscópio grãos de quartzo aprisionados nas esteiras (Figura 21).



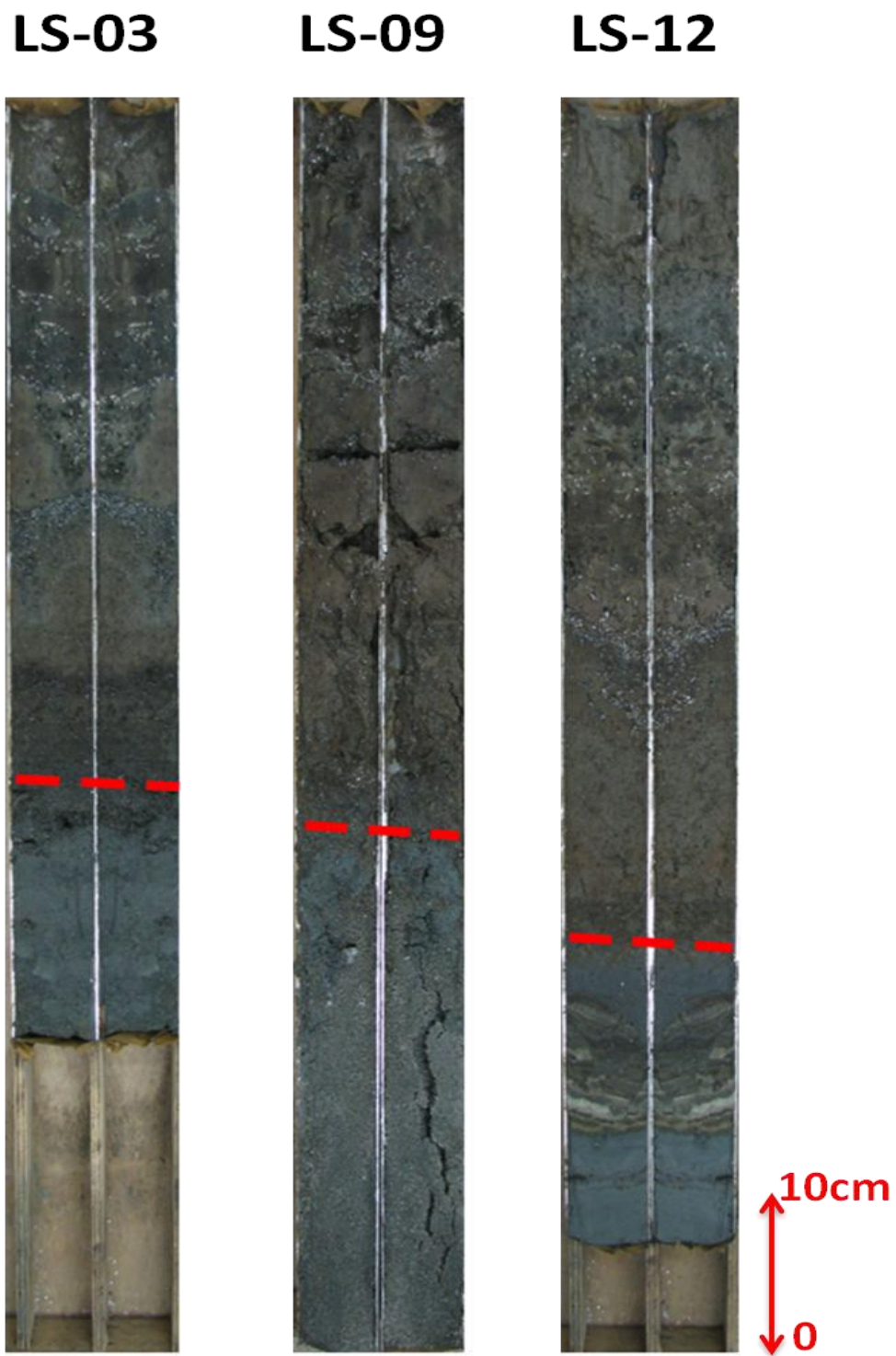
**Figura 20:** Testemunho de sondagem LS-10. Em destaque as intercalações de esteiras microbianas (cor verde musgo) e carbonato de cálcio (cor branca).



**Figura 21:** Fotomicrografia em nicois cruzados do testemunho LS-10 na profundidade de 75cm. Destaque para os grãos de quartzo aprisionados nas esteiras (setas vermelhas). – Observar lâmina de carbonato (500 μm de espessura) intercalada com esteiras.

#### 4.2.4- Fácies Lo (Lama orgânica)

A fácies Lo é caracterizada por um material lamoso de cor marrom e composição terrígena com contribuição orgânica (presença de fragmentos vegetais), depositados por decantação, além da presença de bioclastos, microgastrópodes (*Heleobia australis*) e ostracodes dispersos (Figura 23). Esta fácies ocorre na porção superior de todos os testemunhos, representando a fase de sedimentação mais recente da paleolaguna (Figura 22).



**Figura 22:** Testemunhos de sondagem LS-03, LS-09 e LS-12. Notar a presença da fácies Lo a partir da linha tracejada em vermelho, na parte superior dos testemunhos.





**Figura 23:** Detalhe da fácies Lo. A seta vermelha indica a presença de microgastrópodes.

#### 4.2.5- Fácies Lg (Lama com acumulação de microgastrópodes)

A fácies Lg é caracterizada por acumulação bioclástica de microgastrópodes (*Heleobia australis*), imersos em matriz lamosa de composição terrígena e cor marrom (Figura 24). Esta fácies ocorre associada à fácies Lo e registra o momento de maior abundância dos

microgastrópodes. As conchas dos microgastrópodes possuem cor branca em sua maioria, porém também podem apresentar cores translúcidas, pretas e em tons de cinza.

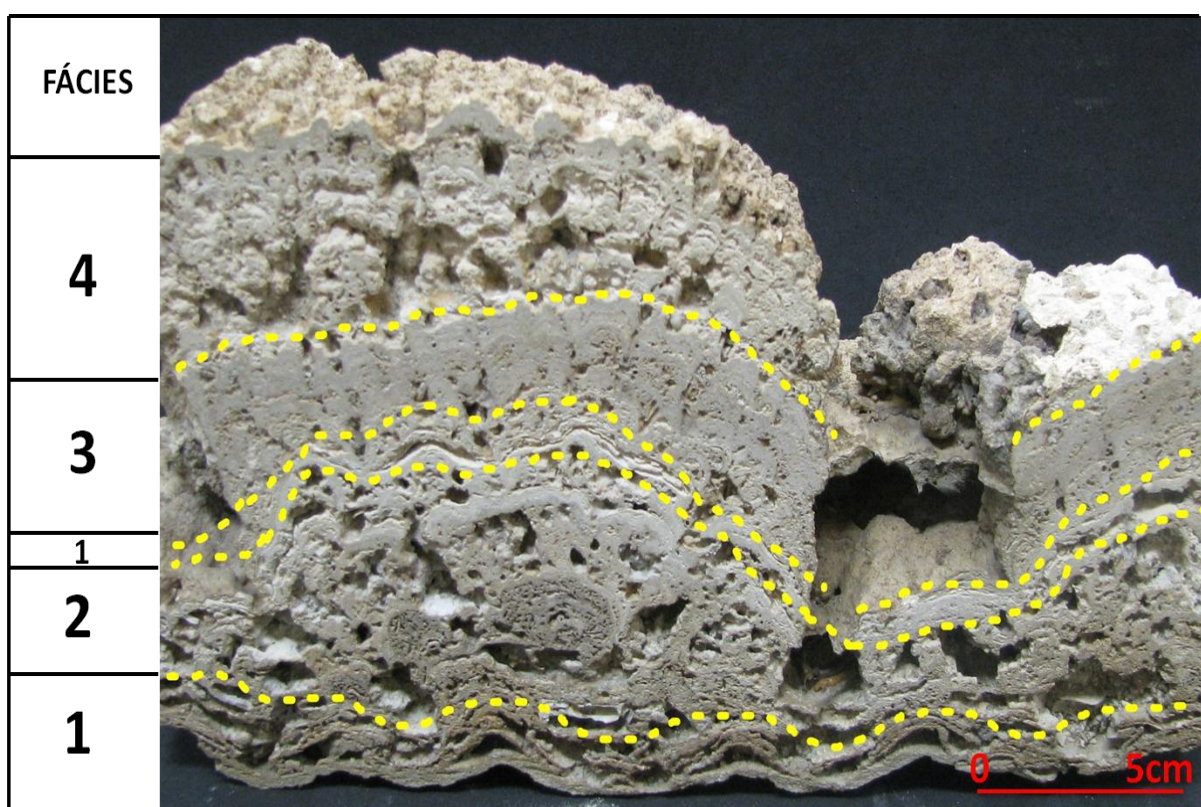


**Figura 24:** Testemunho de sondagem LS-02 mostrando a posição da Fácies Lg. No detalhe à direita, destaque para a acumulação dos microgastrópodes.

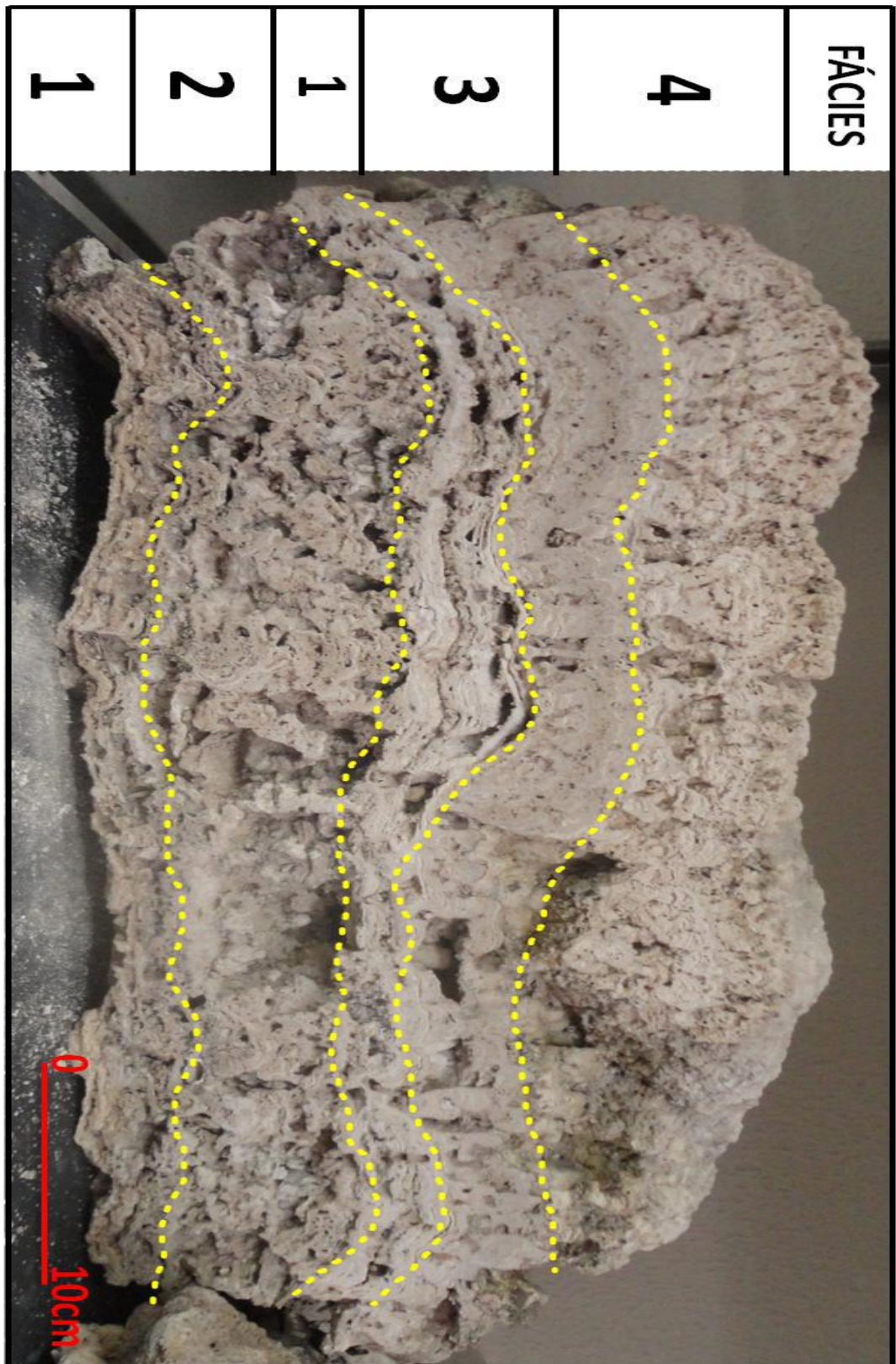


### 4.3- Estromatólitos de Lagoa Salgada

Das amostras de estromatólito coletadas duas foram descritas. Foi realizada em duas etapas que consistiram na descrição macro e microscópica, onde foram caracterizadas quatro fácies de acordo com aspectos morfológicos, composicionais e texturais (Figura 25 e 26). Os estromatólitos coletados foram classificados como biohermas domais segundo Preiss (1976).



**Figura 25:** Amostra 1 subdividida em quatro fácies a partir de aspectos morfológicos e composicionais.

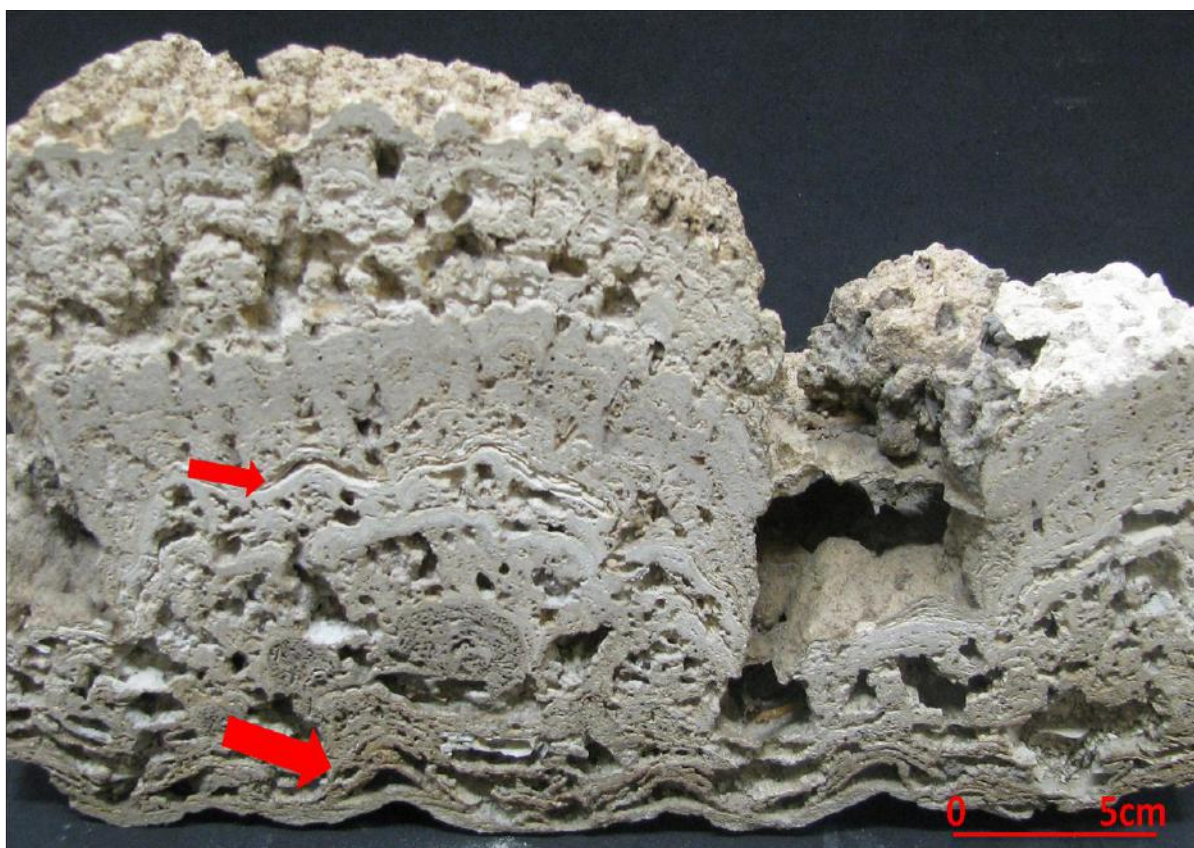


**Figura 26:** Amostra 2 subdividida em quatro fácies a partir de aspectos morfológicos e composicionais.



#### 4.3.1- Fácies 1

A fácies 1 é caracterizada por laminações espessas (variando de 2 a 3 mm), contínuas e com ondulações irregulares. Possui textura granular de composição carbonática. Esta fácies foi observada em dois momentos nos estromatólitos (Figura 27) e possui a morfologia do substrato no qual se desenvolveu. Na porção inferior o substrato é arenoso com grãos de quartzo e as laminações se desenvolveram sobre marcas de ondas do substrato (Figura 28), já quando ocorre na porção intermediária a fácies possui laminações com ondulações irregulares desenvolvidas sobre o estromatólito. A fácies 1 foi classificada como estromatólito estratiforme, e constitui a base para o posterior desenvolvimento dos estromatólitos colunares e demais.



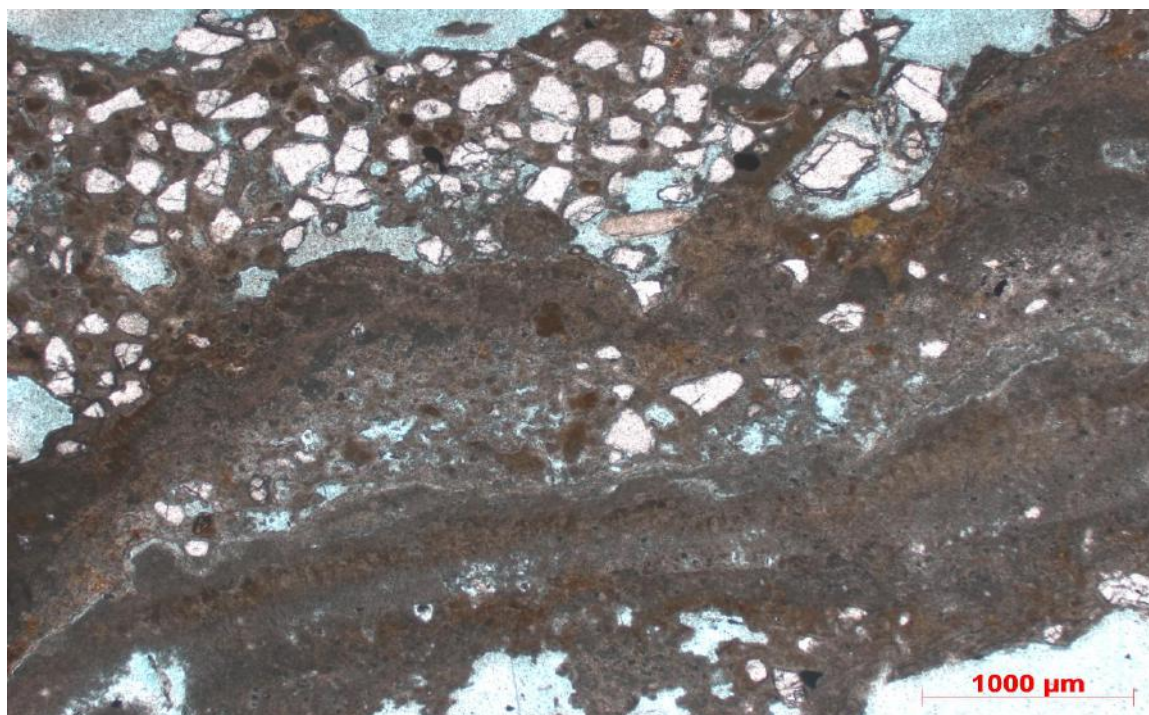
**Figura 27:** Estromatólito de Lagoa Salgada (Amostra 1). As setas vermelhas indicam os dois locais de ocorrência da fácies 1.





**Figura 28:** Detalhe da fácies 1. As linhas tracejadas amarelas destacam as lâminas onduladas e contínuas que se desenvolveram sobre marcas onduladas.

Na petrografia foram observadas as principais características da fácies 1, que correspondem a laminações espessas e contínuas, assim como grãos terrígenos e bioclastos (microgastrópodes e fragmentos de bivalvíos) aprisionados (Figura 29).



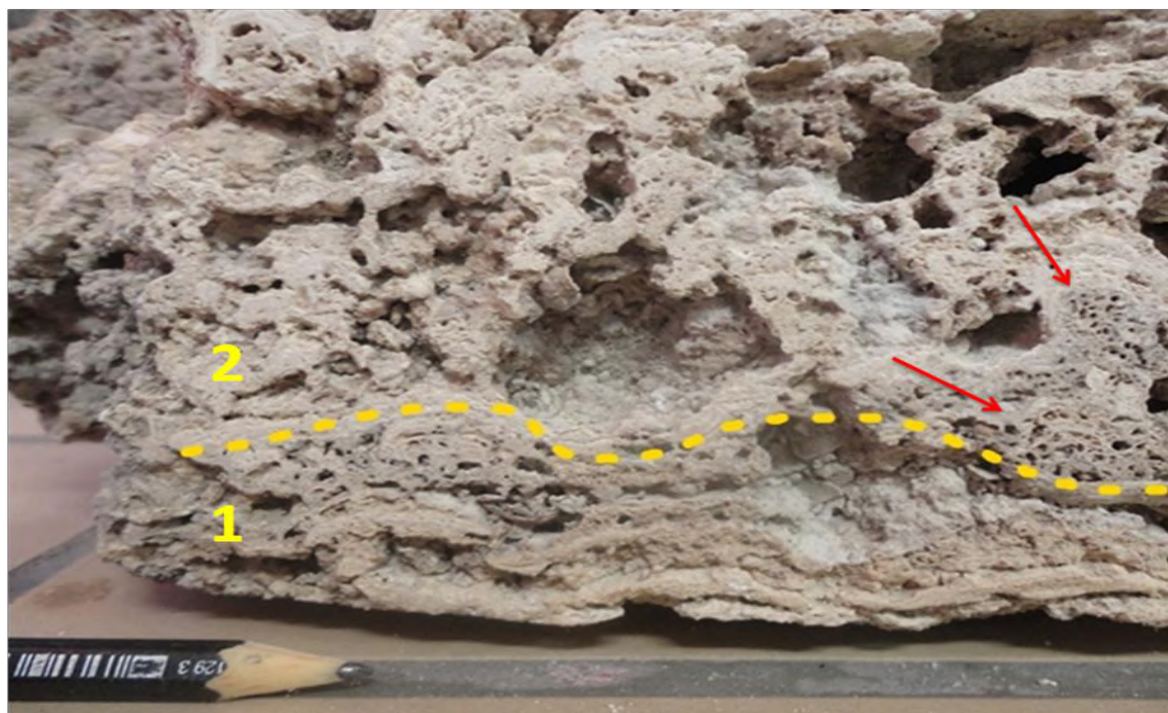
**Figura 29:** Fotomicrografia em nicois cruzados da fácies 1, mostrando grãos de quartzo cimentados por carbonato de cálcio intercalados com laminações carbonáticas.

Os grãos de quartzo presentes, são em geral bem selecionados, subarredondados e de tamanho areia média. Os bioclastos correspondem a microgastrópodes e ostracodes, por vezes fragmentados, mas, de uma maneira geral, bem preservados.

Esta fácies apresenta desenvolvimento de sistema poroso horizontal, seguindo o sentido de desenvolvimento das lâminas e, apresenta porosidade média de 14%, calculada em imagens de tomografia computadorizada (HAYASHI, 2014).

#### 4.3.2- Fácies 2

A fácies 2 apresenta como característica definidora a ocorrência variada de bioturbação associada a tubos de serpulídeos e alto grau de dissolução. Este intervalo também apresenta grãos siliciclásticos e microgastrópodes. Em seu topo é possível traçar uma superfície de dissolução, que se desenvolveu, possivelmente, devido à exposição subaérea.

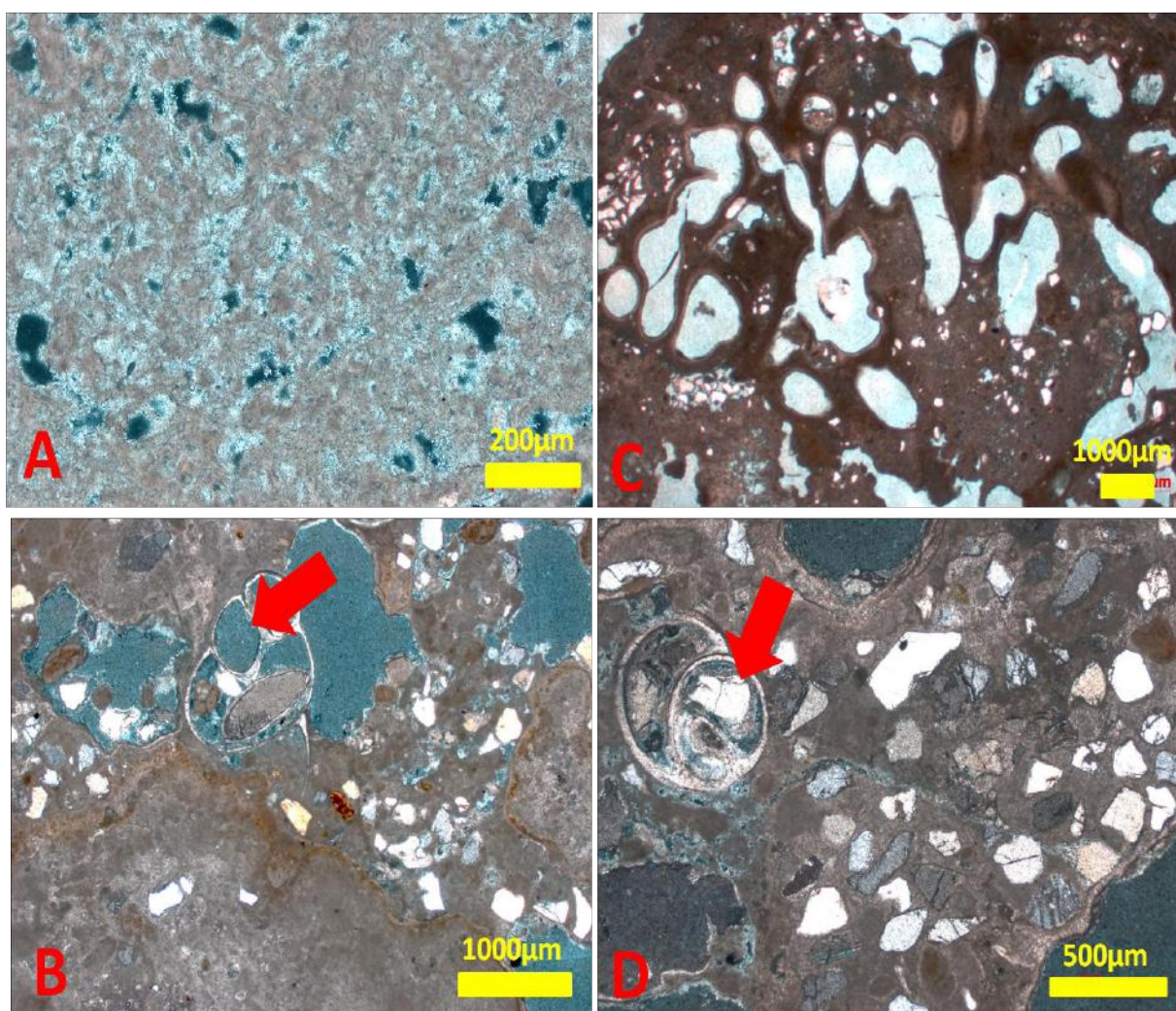


**Figura 30:** Base do estromatólito da Lagoa Salgada (Amostra 2). As fácies 1 e 2 estão separadas pela linha tracejada. As setas em vermelho mostram os tubos de serpulídeos que são característicos da fácies 2.



Na microscopia observa-se com mais detalhes as bioturbações que conferem a alta porosidade desta fácies (Figura 31-C). A porosidade é do tipo móldica (Figura 31-B) e intrapartícula. O intervalo possui porosidade média de 24% (HAYASHI, 2014).

Apresenta composição carbonática e possui textura grumosa associada a calcificação de cianobactérias esféricas (Figura 31-A). A fração arenosa presente é composta por grãos de quartzo de tamanho areia média, bem selecionados e subarredondados. Os bioclastos são microgastrópodes e ostracodes, por vezes fragmentados, mas em geral, bem preservados.

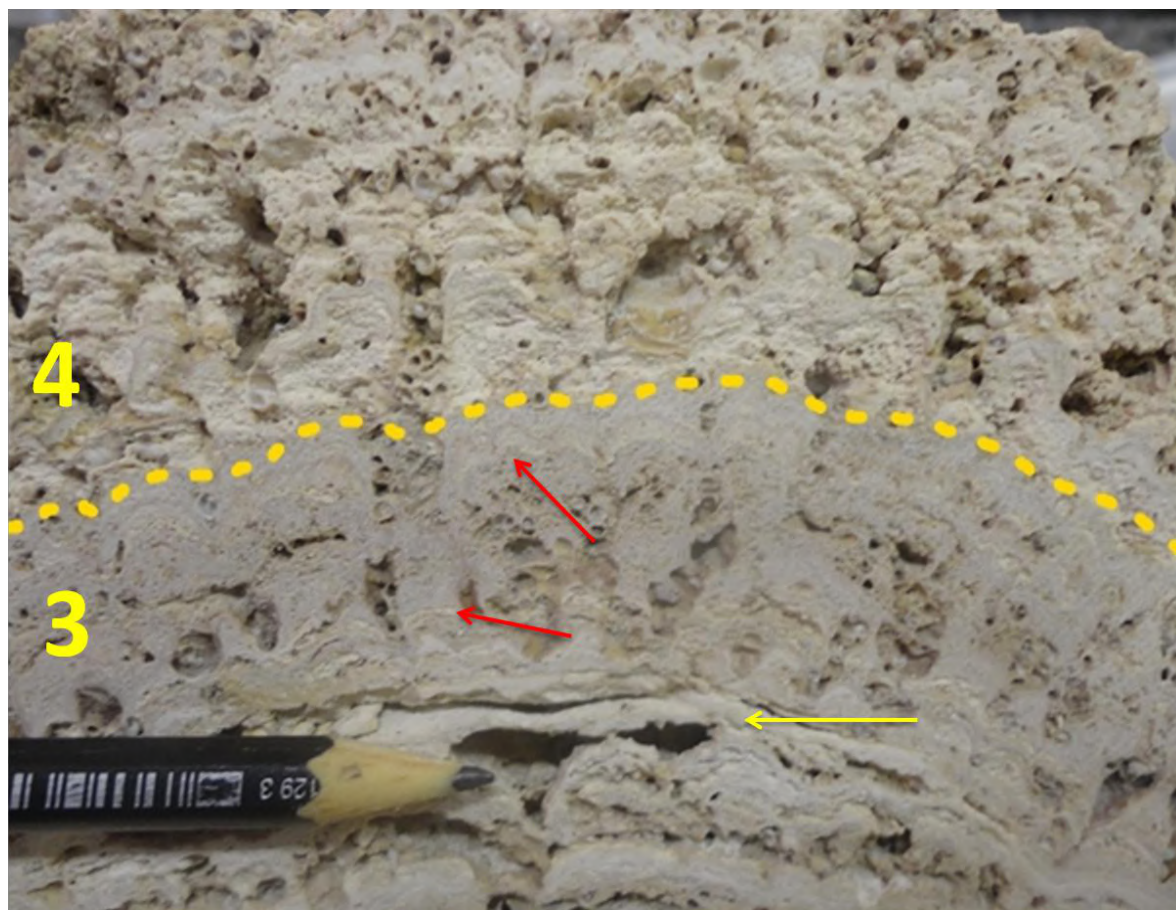


**Figura 31:** Fotomicrografias em nicois cruzados da fácies 2. a) Textura grumosa, caracterizada pela calcificação de cianobactérias esféricas. b) Seta vermelha indicando a porosidade móldica; c) Tubos de serpulídeos revestidos por calcita microcristalina e, por vezes preenchidos por grãos de quartzo; d) Seta vermelha mostrando um microgastrópode preenchido por grãos de quartzo e cimentado por carbonato de cálcio.

#### 4.3.3- Fácies 3

A fácies 3 é caracterizada por laminações finas, crenuladas e contínuas, além da presença de colunas estromatolíticas que se desenvolvem sobre as laminações grossas da fácies 1 (Figura 32). O material é de composição carbonática (calcítica).

Esta fácies apresenta menor porosidade (cerca de 4%), sendo o intervalo mais maciço de toda a amostra (HAYASHI, 2014).

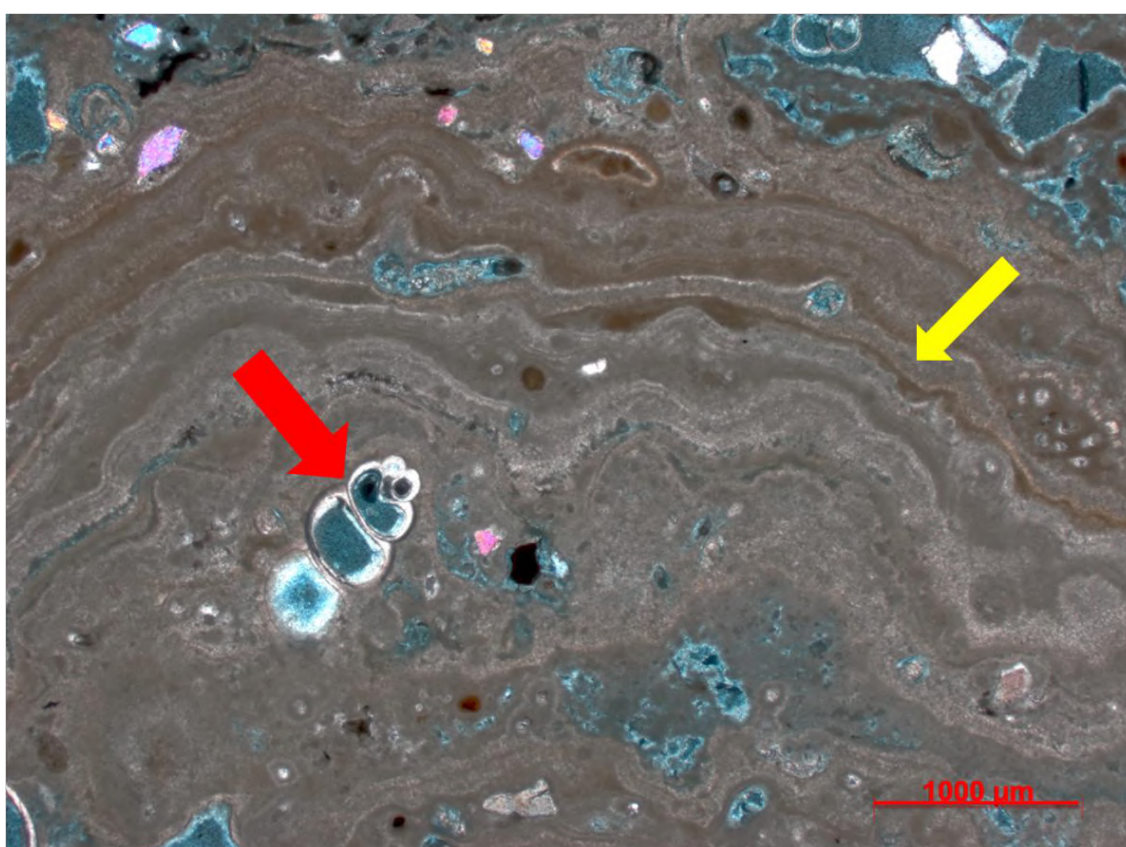


**Figura 32:** Detalhe do estromatólito (Amostra 2) mostrando a fácies 3. As setas em vermelho indicam as laminações finas e o desenvolvimento de colunas estromatolíticas. A seta amarela mostra a fácies 1, que serve de base para o desenvolvimentos destas estruturas.

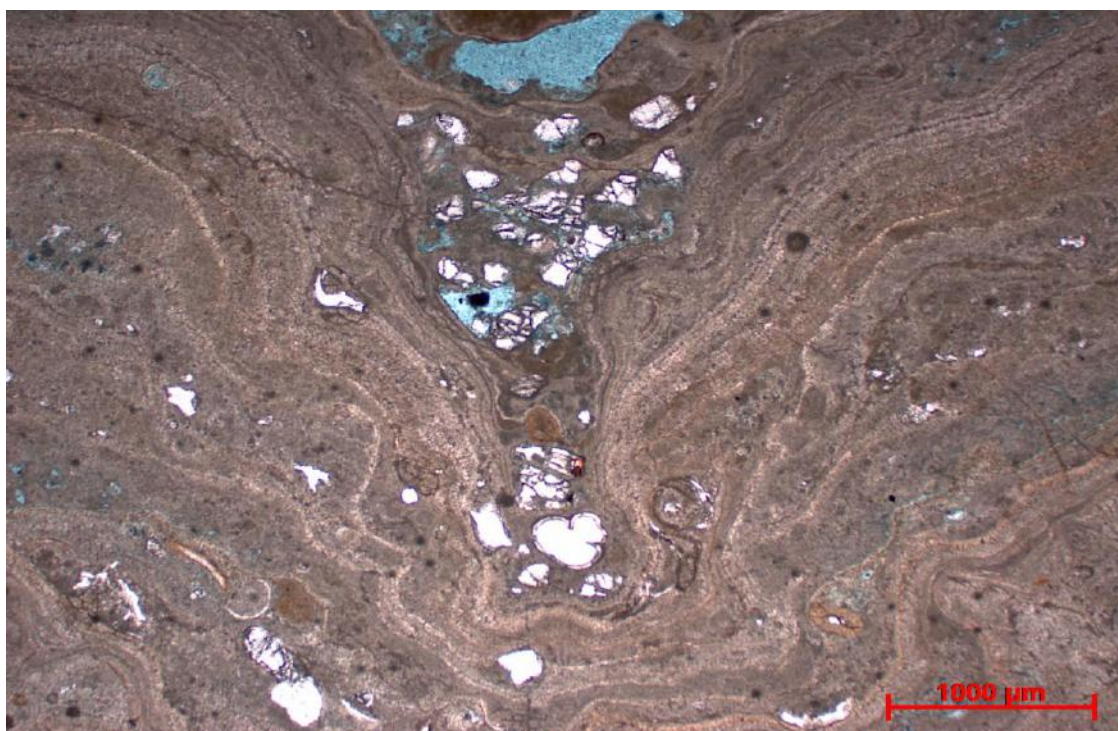


Na microscopia, observam-se melhor as laminações finas e crenuladas além do desenvolvimento das colunas estromatolíticas (Figura 33).

A presença de bioclastos e grãos siliciclásticos é menos comum nesse intervalo, os grãos quando presentes são de quartzo, bem selecionados e de tamanho areia fina a areia muito fina. Os bioclastos observados são microgastrópodes. Observa-se em alguns pontos “bolsões” de grãos de quartzo entre colunas (Figura 34).



**Figura 33:** Fotomicrografia da fácies 3 em nicois cruzados, destacando as laminações finas e crenuladas (seta amarela) e microgastrópode (seta vermelha).

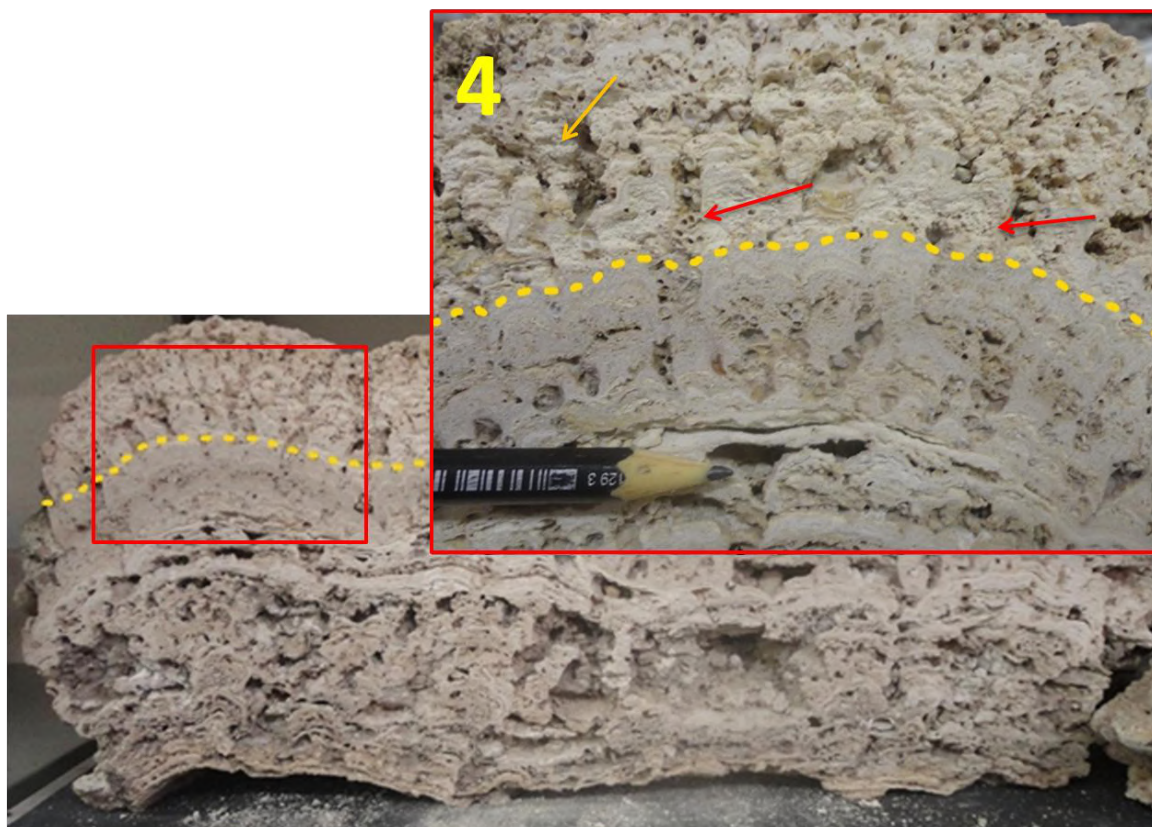


**Figura 34:** Fotomicrografia em nicois cruzados da fácies 3, mostrando o “bolsão” formado por grãos de quartzo.

#### 4.3.4- Fácies 4

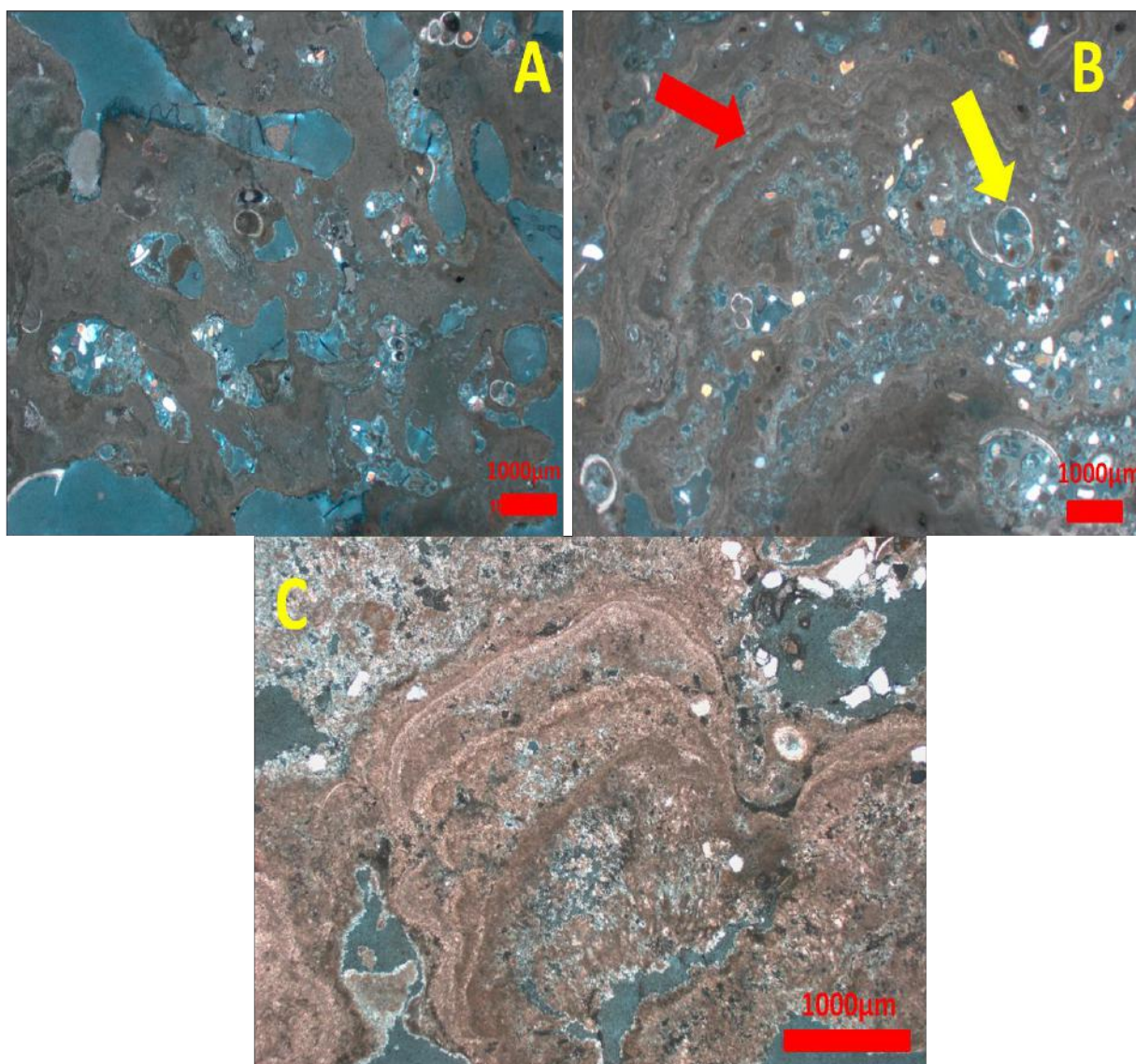
A fácies 4 apresenta como característica a presença de laminações finas, crenuladas e contínuas assim como a fácies 3, porém com uma grande influência biológica gerando muita porosidade (Figura 35). A porosidade observada é gerada por bioturbação, principalmente por tubos de serpulídeos e por dissolução. Composicionalmente o material é de origem carbonática (calcítica). O topo da amostra apresenta dissolução causada pela exposição à água meteórica. Outro aspecto que chama a atenção nesse intervalo é a grande quantidade de bioclastos (microgastrópodes).





**Figura 35:** Fácies 4 em detalhe (Amostra 2). As setas em vermelho indicam tubos de serpulídeos. A seta amarela mostra o desenvolvimento de colunas estromatolíticas.

Na microscopia reconhecem-se os principais aspectos observados macroscopicamente. Estão presentes os tubos de serpulídeos, que por vezes são preenchidos por grãos siliciclásticos (Figura 36-A). Os bioclastos apresentam-se inteiros ou fragmentados (Figura 36-B). É possível verificar o desenvolvimento de várias colunas estromatolíticas (Figura 36-C) com laminações por vezes visíveis, quando visível a laminação é contínua, crenulada e fina. Entre as colunas ocorrem cavidades de dissolução.



**Figura 36:** Fotomicrografias em nicois cruzados da fácies 4. A) Tubos de serpulídeos preenchidos por grãos de quartzo. B) Laminações finas e crenuladas (seta vermelha) bioturbação e fragmentos de conchas (seta amarela). C) Coluna estromatolítica.

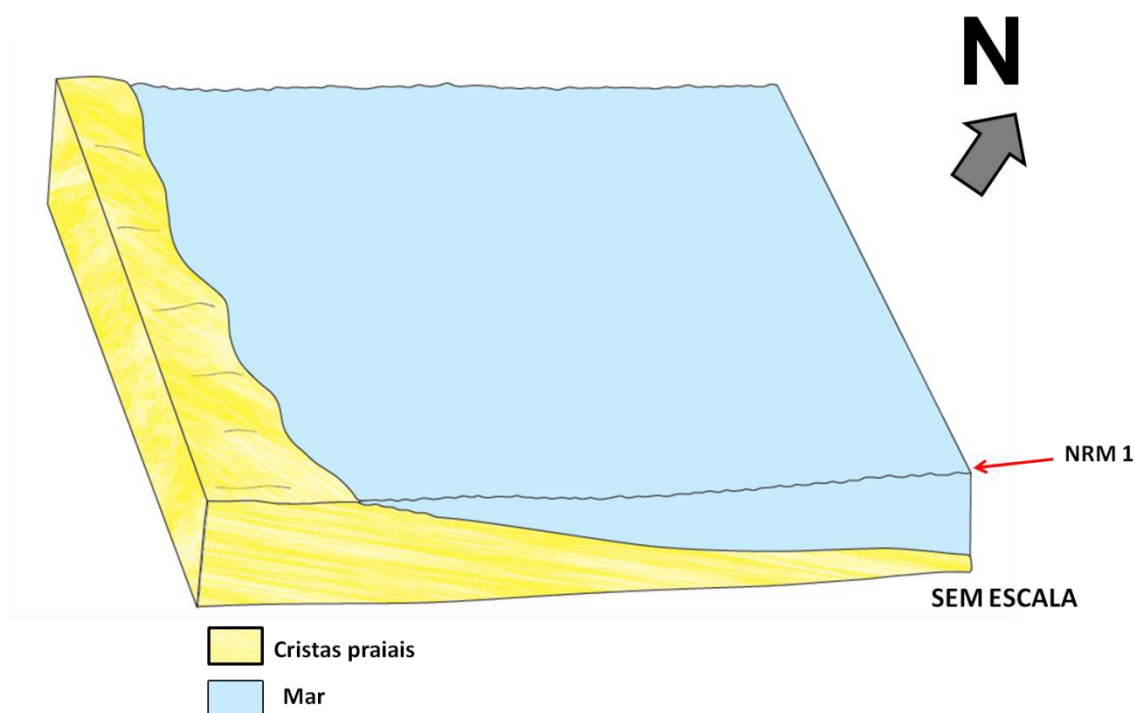


## 5- DISCUSSÕES

Por meio da análise de testemunhos e amostras de estromatólitos provenientes da Lagoa Salgada foi possível verificar três fases distintas de sedimentação: a) marinha; b) de circulação restrita, porém ainda em comunicação com o mar e c) fechamento da lagoa.

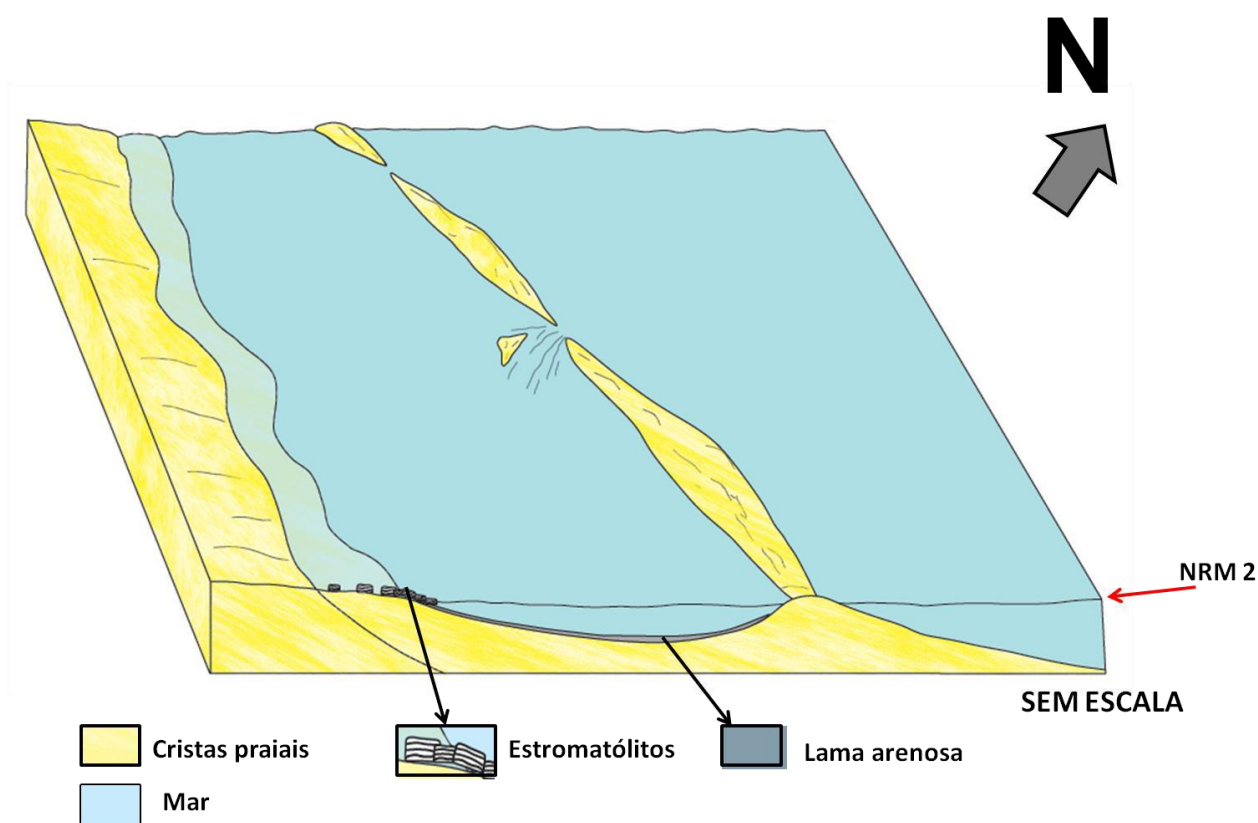
A fase marinha está representada na lagoa pela fácies Ab, e também foi observada por Rodrigues *et al.* (1981) e Lemos (1996). (Figura 37)

A fácies Ab (Areia bioclástica), observada na parte basal dos testemunhos LS-02, LS-04, LS-10 e LS-11 representa as cristas praiais holocênicas do norte do estado do Rio de Janeiro. Rodrigues *et al.* (1981) ao analisarem os foraminíferos dessas camadas inferiores indicaram um ambiente marinho. Lemos (1996) caracterizou os sedimentos da Lagoa Salgada e identificou características semelhantes à fácies Ab, que está englobada numa sequência marinha. Datações de conchas coletadas por Martin *et al.* (1993) em cristas praiais correlatas a deste estudo mostram uma idade de ~3.060 AP.



**Figura 37:** Esquema ilustrativo da fase marinha da Lagoa Salgada.

Após esta fase, registra-se uma queda do nível relativo do mar ( $NRM1 > NRM2$ ) com a formação de ilhas barreiras e maior restrição da influência marinha na região (Figura 38). A formação da Lagoa Salgada ocorre nesta fase com um assoreamento contínuo e diminuição da energia, gerando um ambiente de sedimentação um pouco distinto do anterior, porém ainda em comunicação com o mar. A fácies La (Lama arenosa) apresenta grande diversidade de organismos, formando associação que denota uma necessidade de comunicação com mar, porém com diminuição da energia para a sedimentação, evidenciada pelas subfácies La-1 e La-2.



**Figura 38:** Esquema ilustrativo da formação da Lagoa Salgada na fase em comunicação restrita com o mar. Início do assoreamento da lagoa; em detalhe, formação dos estromatólitos nas margens e sedimentação de lama arenosa no interior da lagoa (fácies La).

A fácies La de acordo com seu conteúdo biológico atesta influência marinha, e é equivalente às fácies lama plástica e lama com partículas carbonáticas descritas por Lemos

(1996). Indica um ambiente de baixa pluviosidade com intensa evaporação e com tempo suficiente para deposição dessas camadas espessas.

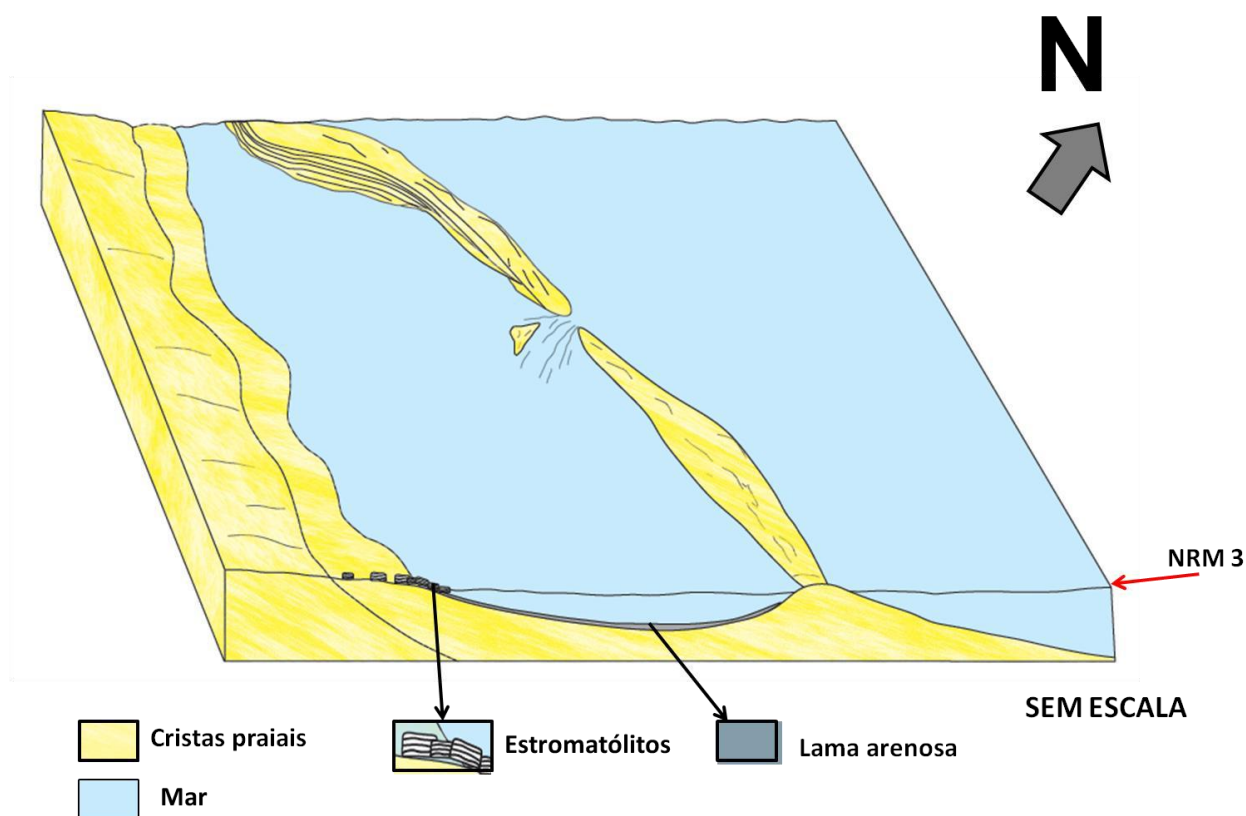
Os microfósseis observados nesta fácies são ascídias, foraminíferos, equinoides e briozoários. Dentre os microfósseis destacam-se as ascídias, que são nanofósseis calcários de composição aragonítica, e tem seu desenvolvimento associado a temperaturas tropicais e a abundância de carbonato nas águas (VAROL e HOUGHTON, 1996). Os foraminíferos observados são de hábito bentônico e planctônico. A associação desses organismos indica contribuição marinha durante esta fase de sedimentação.

As fácies 1 e 2 dos estromatólitos são correlacionáveis as microfácies MM1 e MM2 de Iespa (2010) e a porção basal definida por Lemos (1996). Ambos os trabalhos indicam uma influência marinha para essa parte dos estromatólitos devido às características das estruturas e a presença de microorganismos (foraminíferos).

A fácies 1 configura um estromatólito estratiforme. As laminações grossas características desta fácies podem representar o primeiro estágio de formação dos estromatólitos, no qual, as esteiras fixam-se sobre o substrato, dando estabilidade antes do crescimento das colunas estromatolíticas. A fácies 2, marcada pela profusão de bioturbação e ausência de estruturas laminares pode configurar um trombólito (IESPA, 2010).

Possivelmente, enquanto ocorreu a sedimentação da fácies La na porção central da lagoa (onde foram retirados os testemunhos), nas bordas ocorreu a formação da porção basal dos estromatólitos.

Bahniuk *et al.* (2012) dataram os estromatólitos de Lagoa Salgada e por meio de correlação morfológica das estruturas é possível correlacionar as fácies 1 e 2 com os intervalos temporais de ~ 2.300 anos AP e ~1.980 anos AP, respectivamente.



**Figura 39:** Esquema ilustrativo da formação da Lagoa Salgada na fase em comunicação restrita com o mar. Nota-se a diminuição do nível relativo do mar em relação à figura 38 ( $NRM3 < NRM2$ ) e o processo de fechamento das ilhas barreiras.

Com o contínuo processo de fechamento da paleolaguna ocorre diminuição da energia e menor turbulência para a sedimentação. Um possível registro desse período é descrito neste trabalho como a fácies Bi (Biolaminito). Lemos (1996) cita intercalações entre esteiras microbianas e carbonato de cálcio como lentes carbonáticas e explica a diferença de coloração pela presença de material siliciclástico. O presente trabalho descreve essas estruturas como

uma fácies independente caracterizando-a como intercalações de esteiras microbianas e carbonato de cálcio. Estas estruturas teriam se desenvolvido num momento de clima seco, com baixa pluviosidade e maior evaporação para concentração de  $\text{CaCO}_3$ , aliados a atividade microbiana para a precipitação.

As intercalações são definidas como biolaminito por Schieber *et al.* (2007). Segundo este autor, a formação das diferentes laminações é influenciada pela sazonalidade associada a períodos de maior ou menor evaporação e assim, gerando alterações na salinidade, profundidade da lâmina d'água e na intensidade de luz.

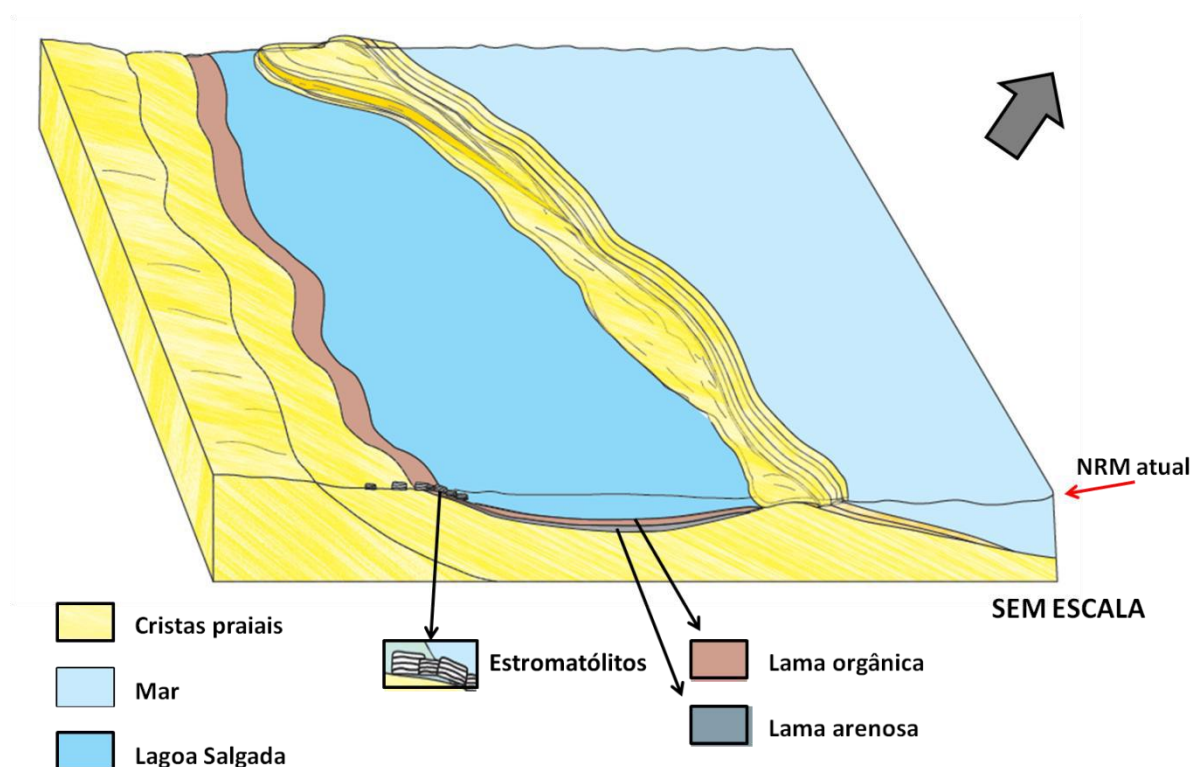
A fácies 3, formada por colunas bem desenvolvidas e laminações finas e crenuladas, pode estar associada a esse momento da lagoa, já que também evidencia um momento de menor energia das águas e aumento gradativo da salinidade. Iespa (2010) considera esse momento como o início da formação da Lagoa Salgada. Possivelmente, há uma variação na altura da lâmina d'água propiciando a formação das intercalações na porção central da lagoa num momento de exposição dos estromatólitos nas bordas e um momento de afogamento das esteiras quando há o aumento da lâmina d'água. As datações de Bahniuk *et al.* (2012) indicam uma idade de ~ 1.123 AP para esta fácies.

A fácies Lo (Lama orgânica), corresponde à sedimentação mais recente da lagoa, já sem comunicação com o mar. A matéria orgânica é composta por fragmentos vegetais, que chegam a lagoa através do canal do Açú e por esteiras orgânicas que se aglomeram nas bordas da lagoa. Lemos (1996) também observou características semelhantes nesses sedimentos que cobrem o fundo atual da lagoa.

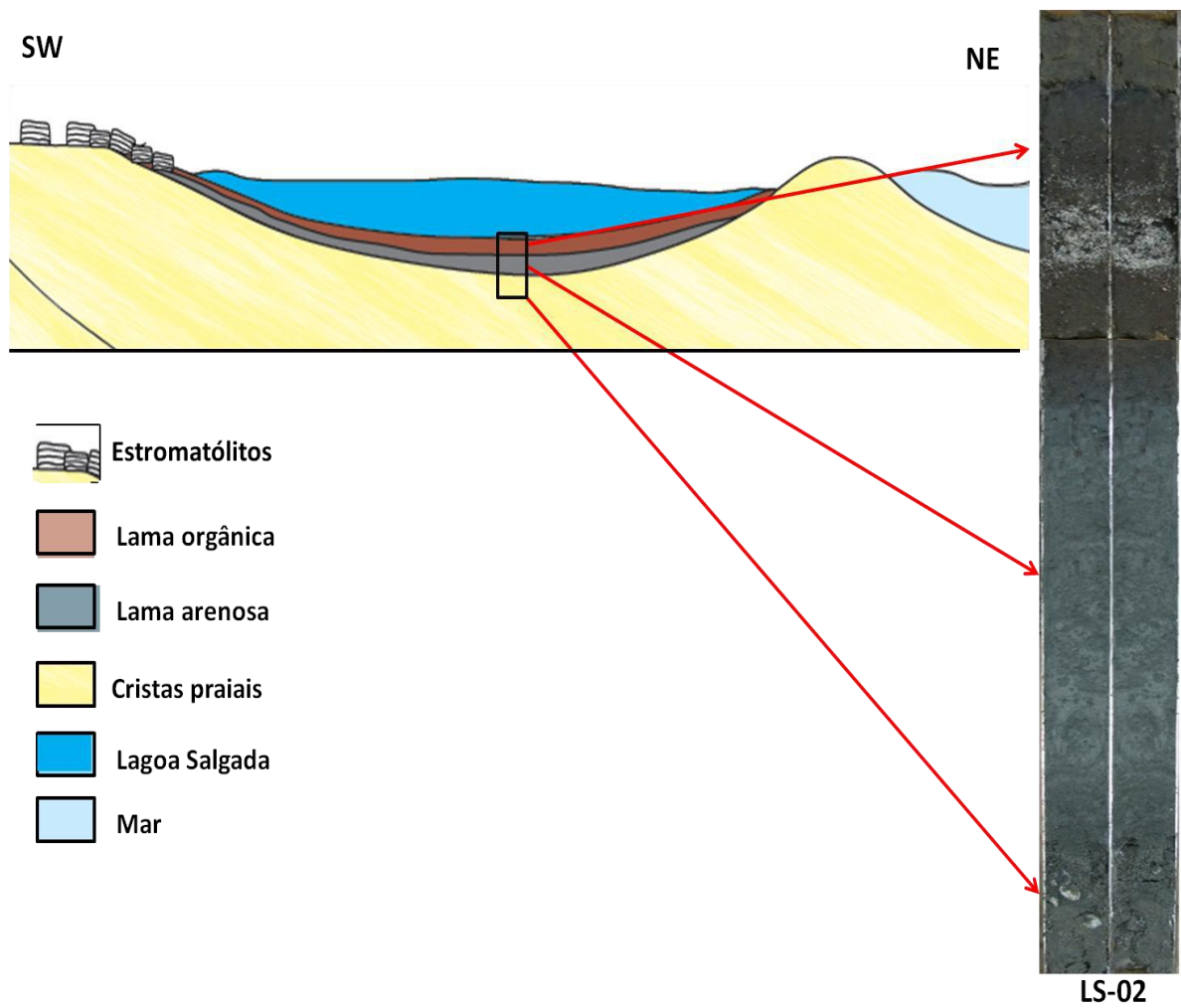
A fácies Lg (Lama com acumulação de microgastrópodes) ocorre associada à fácies Lo e registra um momento de aumento significativo da população de microgastrópodes e sua posterior mortandade. Os microgastrópodes (*Heleobia australis*) tem alta tolerância a variações de salinidade, porém são mais abundantes em faixas de salinidade entre 0-34‰

(FENCHEL, 1975). A associação destes organismos com a fácies Lo registra um aumento populacional, que possivelmente está relacionado com o aumento do conteúdo de matéria orgânica que serve de alimento para esses organismos e posterior escassez destes alimentos, causando a mortandade destes organismos.

A fácies 4 representa o fim da formação da Lagoa Salgada segundo Iespa (2010), com decorrente diminuição da circulação de água na região e aumento de salinidade e pH, e consequente diminuição de organismos. Esta fácies mostra evidências de dissolução e bioerosão associadas à exposição subaérea. As datações de Bahniuk *et al.* (2012) indicam que o desenvolvimento dos estromatólitos cessou há cerca de 300 anos AP. O fundo da lagoa atual é composto por lama orgânica da fácies Lo e microgastrópodes (Figura 40).



**Figura 40:** Esquema ilustrativo da formação da Lagoa Salgada na fase sem comunicação marinha. Fase de sedimentação da lama orgânica (fácies Lo) e final de formação dos estromatólitos.



**Figura 41:** Seção esquemática SW-NE da Lagoa Salgada mostrando algumas fácies observadas, e a direita a correlação com o testemunho de sondagem LS-02.

## 6- CONCLUSÃO

A partir dos dados de campo e laboratório, utilizando descrições detalhadas e petrografia dos testemunhos de sondagem e estromatólitos, foram caracterizadas nove fácies sedimentares, cinco em testemunhos de sondagem (Ab, La, I, Lo, Lg) e quatro em estromatólitos (1, 2, 3 e 4).

A caracterização das fácies contribuiu para a compreensão da evolução paleoambiental da Lagoa Salgada, indicando três fases de sedimentação: a) marinha; b) de comunicação restrita com o mar; c) lagoa fechada.

A partir do entendimento das fases evolutivas foi possível propor esquemas ilustrativos e uma seção esquemática representando-as.

A Lagoa Salgada registra momentos de sedimentação carbonática e terrígena. A sedimentação carbonática provém da acumulação de bioclastos, dissolução de carapaças e como resultado das atividades metabólicas das cianobactérias. A sedimentação terrígena foi influenciada pelo momento de comunicação com o mar (observada nos grãos de quartzo possivelmente retrabalhados e carregados a paleolaguna ao longo da evolução da planície do rio Paraíba do Sul ou por elevações relativas do nível do mar) e pela comunicação com o canal do Açú.

Este estudo contribuiu para o melhor entendimento dos fatores paleoambientais que influenciaram a sedimentação da Lagoa Salgada e, assim, possibilitou a melhor compreensão da sua história evolutiva.



## 7- REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AWRAMIK, S. e MARGULIS, L. Definition of stromatolite: Stromatolite Newsletter (unpublished): v.2, p.5, 1974.

BAHNIUK, A. M., MONTLUÇON, D., BONTOGNALI, T., EGLINTON, T., VASCONCELOS, C. e HAJDAS, I. Growth rate of modern stromatolites: Accretion mechanisms of stromatolites from Lagoa Salgada, Brazil. Annual Reports of Ion Beam Physics, ETH Zurich, p. 33, 2012.

BORGHI, L. Visão geral da análise de fácies sedimentares do ponto de vista da arquitetura deposicional. Boletim do Museu Nacional, Rio de Janeiro, n.53, p.1–26, 2000.

BURNE, R.V. e MOORE, L.S.. Microbialite: Organosedimentary deposits of benthic microbial communities. Palaios, v.2, p. 241-254. 1987.

CATALDO, R. A. Análise dos Estromatólitos e sedimentos associados – Lagoa Salgada/RJ. 50p. 2011. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Geologia)- Curso de Geologia – Instituto de Geociências, Universidade Estadual de Campinas, Campinas.

CHOQUETTE, P. W e PRAY, L. C. Geologic nomenclature and classification of porosity in sedimentary carbonates. Bulletin of American Association of Petroleum Geologists, v. 54, n. 2, p. 207-250. 1970.

COURA, A. P.P. Caracterização Faciológica e Paleoambiental de Estromatólitos da Formação Codó (Aptiano, Bacia do Parnaíba). 95f. 2011. Dissertação (Mestrado em geologia) – programa de Pós-graduação em Geologia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

DIAS, J. L., CARMINATTI, M., SCARTON, J. C., GUARDADO, L. R., ESTEVES, F. R., Aspectos da evolução tectono-sedimentar e a ocorrência de hidrocarbonetos na Bacia de Campos. In: RAJA GABAGLIA, G. P., MILANI, E. J. Origem e evolução de bacias sedimentares, Petrobrás. 1991, p. 333-360.

FENCHEL, T., Factors determining the distribution patterns of mud snails (Hydrobiidae). Oecologia, v.20, p. 1-17, 1975.

HAYASHI, F. Y. D. Avaliação do Volume Representativo Elementar (REV) em estromatólito de Lagoa Salgada 53p. 2014. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Geologia)- Curso de Geologia – Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro.

HOFFMAN, H. J., Attributes of stromatolites and Riphean stromatolite stratigraphy. Geol Surv Can Pap. v.39, p. 58-69, 1969.

HOFMANN, H. J., Stromatolites: Characteristics and utility. Earth-Science Reviews. v. 9, p. 339-373, 1973.

IESPA, A. A. C. O Plexo Estromatólito–Trombólito–Oncoide, Lagoa Salgada, RJ, Brasil. 105f. 2010. Tese (Doutorado em geologia) – programa de Pós-graduação em Geologia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

KALKOWSKY, E., Oolith und Stromatolith im norddeutschen Buntsandstein. Z. Dtsch. Geol. Ges. v.60, p.68–125. 1908.

KRUMBEIN, W. E., Stromatolites - The challenge of a term in space and time. Precambrian Research n. 20. Elsevier Science Publishers, B.V. Amsterdam-Printed in the Netherlands, p. 493-53, 1983.

LEMOES, R. M. T. Estudo das fácies deposicionais e das estruturas estromatolíticas da Lagoa Salgada, Rio de Janeiro. 126p. 1996. Dissertação (Mestrado em Geoquímica), programa de Pós-graduação em Dinâmica dos Oceanos e da Terra (DOT), Universidade Federal Fluminense, Niterói.

MARTIN, L., SUGUIO, K., DOMINGUEZ, J. M. L., FLEXOR, J. M. e AZEVEDO, A. E. 1984. Evolução da planície costeira do Rio Paraíba do Sul (RJ) durante o Quaternário: influência das flutuações do nível do mar. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, XXXIII, Rio de Janeiro, 1984. *Resumo expandido*, Rio de Janeiro, p. 84-97.

MARTIN, L., SUGUIO, K., FLEXOR, J. M., As flutuações de nível do mar durante o Quaternário Superior e a evolução geológica dos deltas brasileiros. Revista do Instituto de Geociências - USP, Publicação Especial 15, São Paulo, p. 1-186, 1993.

PREISS, W. V., Basic field and laboratory methods for the study of stromatolites. In: WALTER, M. R., Developments in sedimentology 20. Stromatolites. Elsevier. 1976, p. 5-13

RODRIGUES, M. A., CARVALHO, M. G. P. e DIAS, G. T. M. 1981. Interpretação paleoambiental das lagoas Salgadas e das Ostras (RJ) Brasil, com base em foraminíferos. In: CONGRESSO LATINO-AMERICANO DE PALEONTOLOGIA. II, Porto Alegre, 1981. *Anais*, Rio Grande do Sul, p. 893-906.

SCHIEBER, J., BOSE, P. K., ERIKSSON, P. G., BANERJEE, S., SARKAR, S., ALTERMANN, W., CATUNEANU, O. Prologue: An introduction to microbial mats. In: SCHIEBER, J., BOSE, P. K., ERIKSSON, P. G., BANERJEE, S., SARKAR, S., ALTERMANN, W., CATUNEANU, O. (ed.) Atlas of microbial mats features preserved within the siliciclastic Rock Record. Atlases in Geoscience 2. Elsevier, Amsterdam, 2007, pp. 1-3.

SEMIKHATOV, M.A., GEBELEIN, C. D., CLOUD, P., AWRAMIK S. M., BENMORE, W. C.. Stromatolite morphogenesis- progress and problems. Canada Journal of Earth Science. v.19, p.992-1015, 1979.

SILVA e SILVA, L. H. Contribuição ao conhecimento da composição microbiana e química das estruturas estromatolíticas da lagoa Salgada, Quaternário do Rio de Janeiro, Brasil. Rio de Janeiro. 176 p. 2002. Tese (Doutorado em geologia) – programa de Pós-graduação em Geologia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

SILVA e SILVA, L. H., ALVES, A. P. M. N., MAGINA, F. C., GOMES, S. B. V. C. Composição cianobacteriana e química dos estromatólitos da lagoa Salgada, Neógeno do estado do Rio de Janeiro, Brasil. *Revista do Instituto de Geociências – USP, São Paulo*, v.13, n.1, p. 95-106, 2013.

SILVA, C. G.. Estudo da evolução geológica e geomorfologia da região da Lagoa Feia, RJ. 160p 1987. Dissertação (Mestrado em geologia) – programa de Pós-graduação em Geologia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

SRIVASTAVA, N. K. Lagoa Salgada/RJ. Estromatólitos Recentes. *In: SCHOBENHAUS, C., CAMPOS, D. A., QUEIROZ, E. T., WINGE, M., BERBERT-BORN, M. (eds) Sítios geológicos e paleontológicos do Brasil. DNPM/CPRM –Comissão de Sítios Geológicos e Paleobiológicos do Brasil (SIGEP), Brasília, 2002, v.1, p. 203-209- SIGEP 41.*

SRIVASTAVA, N.K.. Estromatólito. *In: CARVALHO, I. S. (ed.). Paleontologia. Interciência, Rio de Janeiro, 2004, p. 171-195.*

STAL, L. J., Cyanobacterial Mats and Stromatolites. *In: Whitton, B.A. e Potts, M. (eds). The Ecology of Cyanobacteria. Kluwer Academic Publishers. Netherland: p. 61-120, 2000.*

VAROL, O., e HOUGHTON, S. D., A review and classification of fossil didemnid ascidian spicules. *Journal of Micropaleontology*, v.15, p. 135-149, 1996.

WINTER, R.W., JAHNERT, R. J. e FRANÇA, A. B. Bacia de Campos. *Boletim de Geociências da Petrobras, Rio de Janeiro*, v.15, n.2, p. 511-529. 2007.

## Apêndice A– Testemunhos de sondagem e seus respectivos perfis sedimentológicos

As figuras utilizadas nos perfis adotam as legendas a seguir:



Biválvios fragmentados



Limite de camadas



Biválvios



Microgastrópodes



Acumulação de microgastrópodes



Lama orgânica



Intercalação de esteira microbiana e  $\text{CaCO}_3$



Lama arenosa

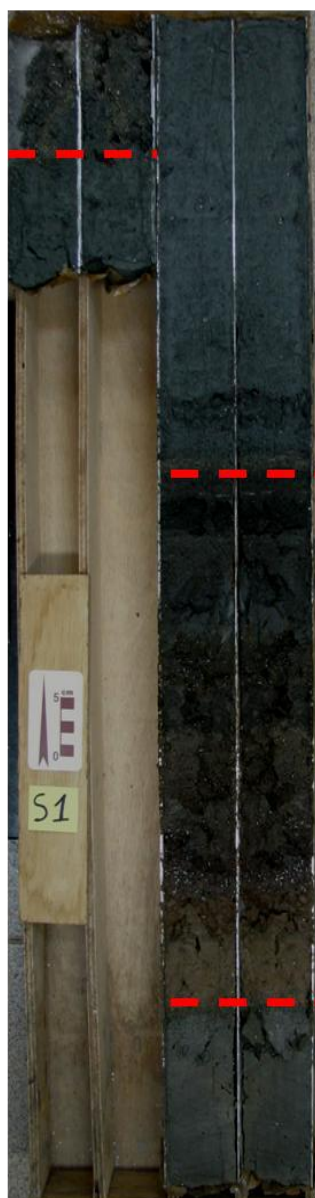


Areia bioclástica

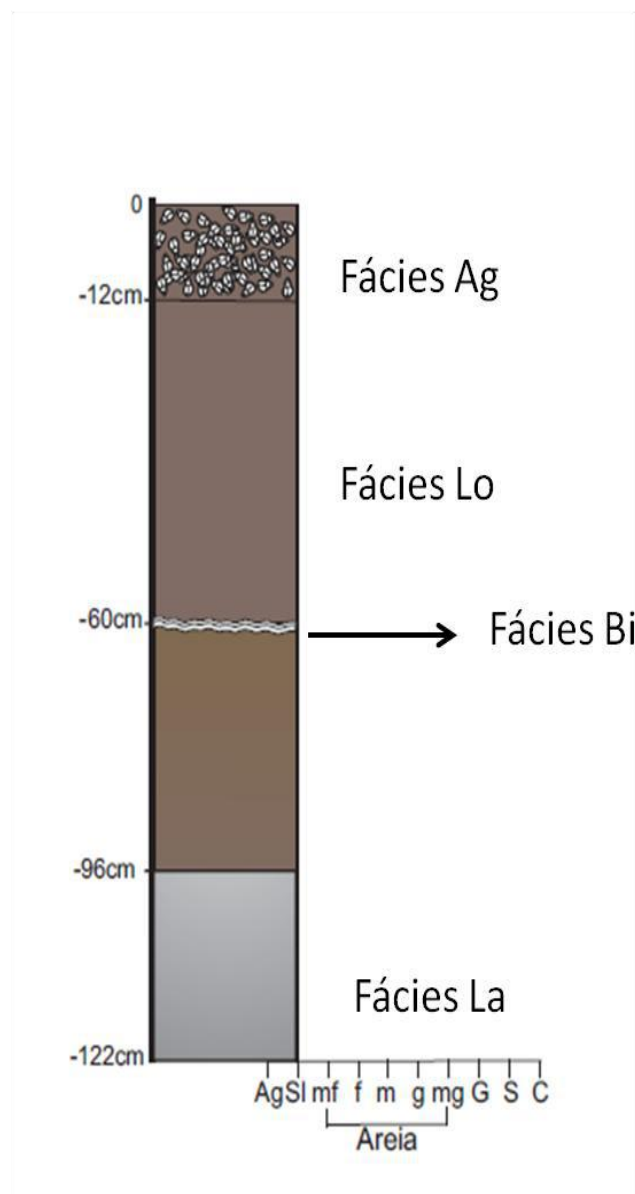
# LS-01

TOPO

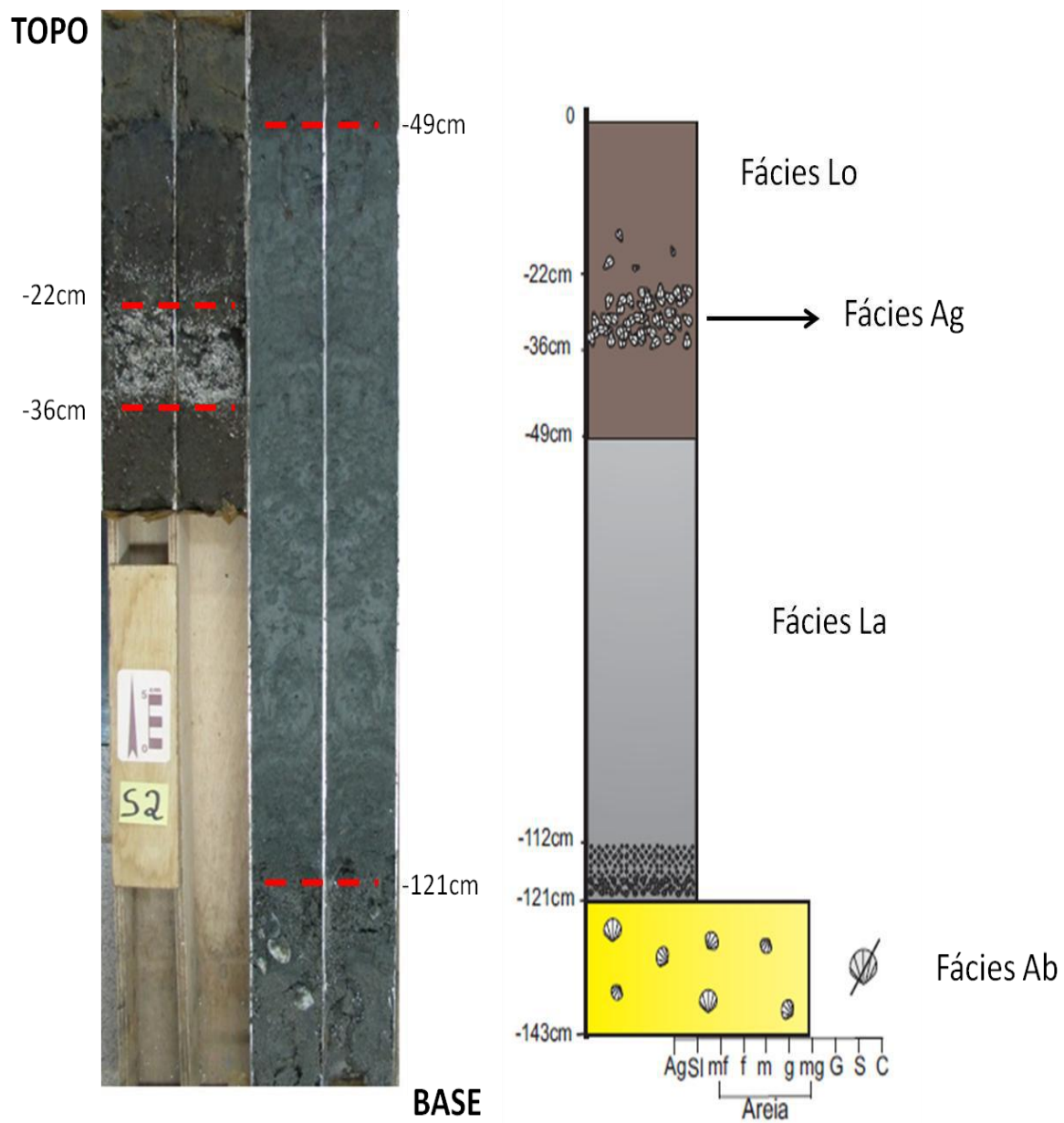
12cm



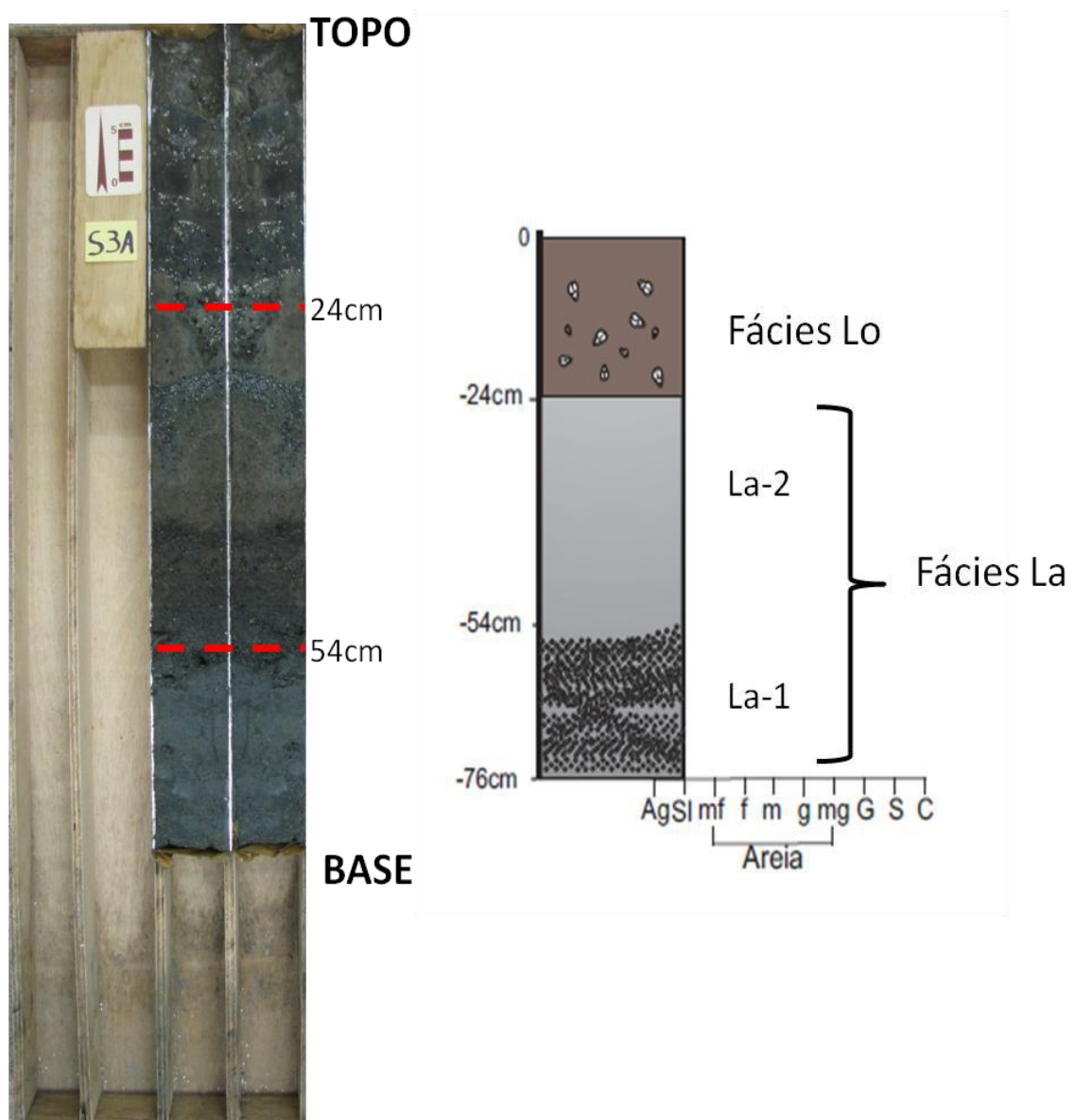
BASE



# LS-02

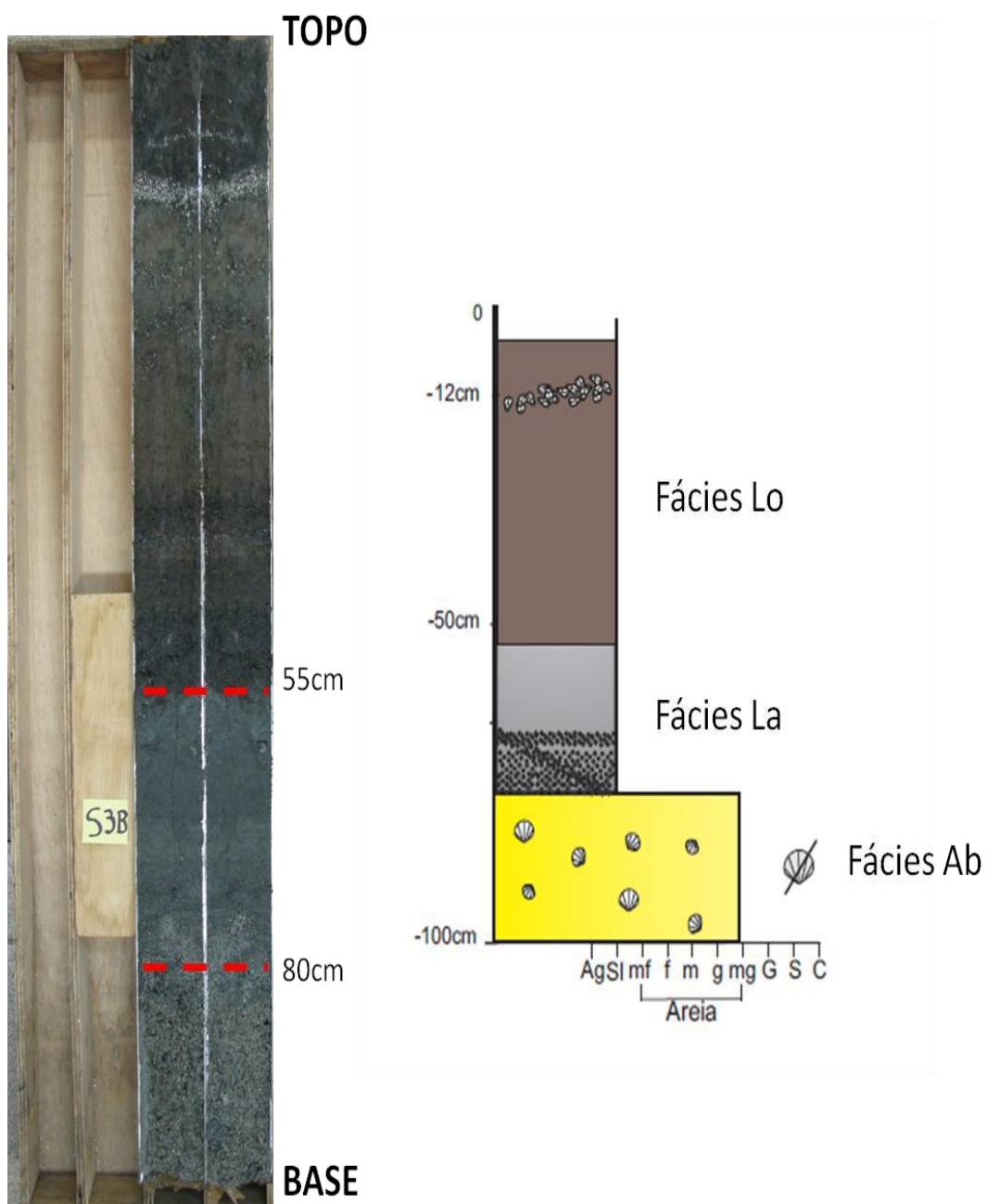


# LS-03

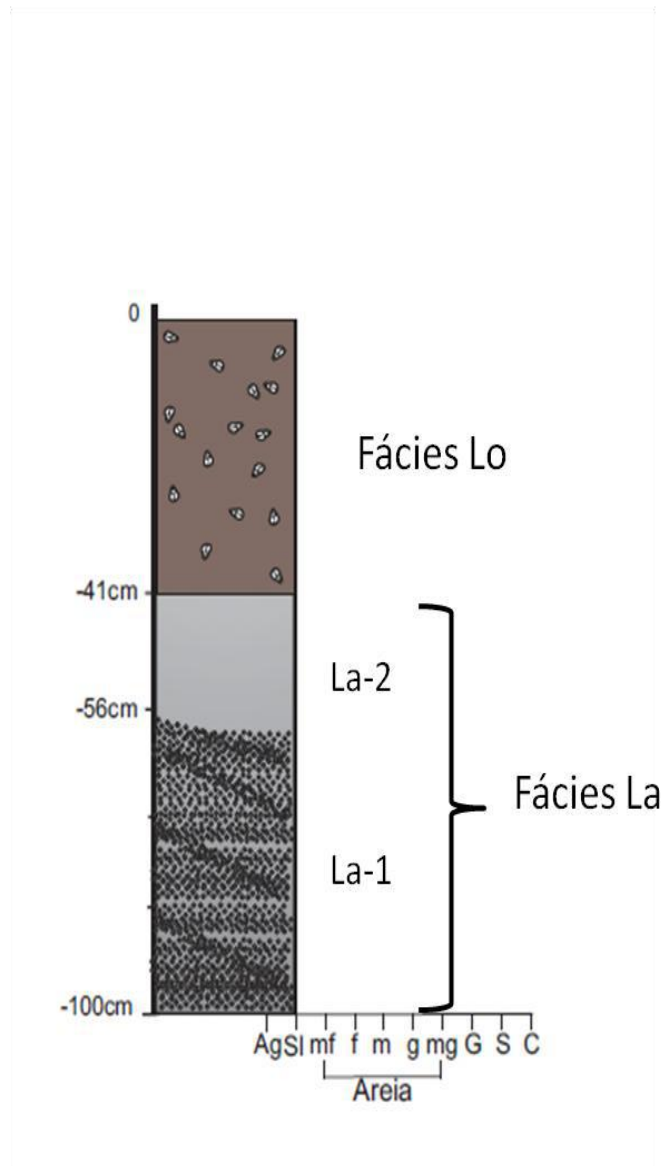
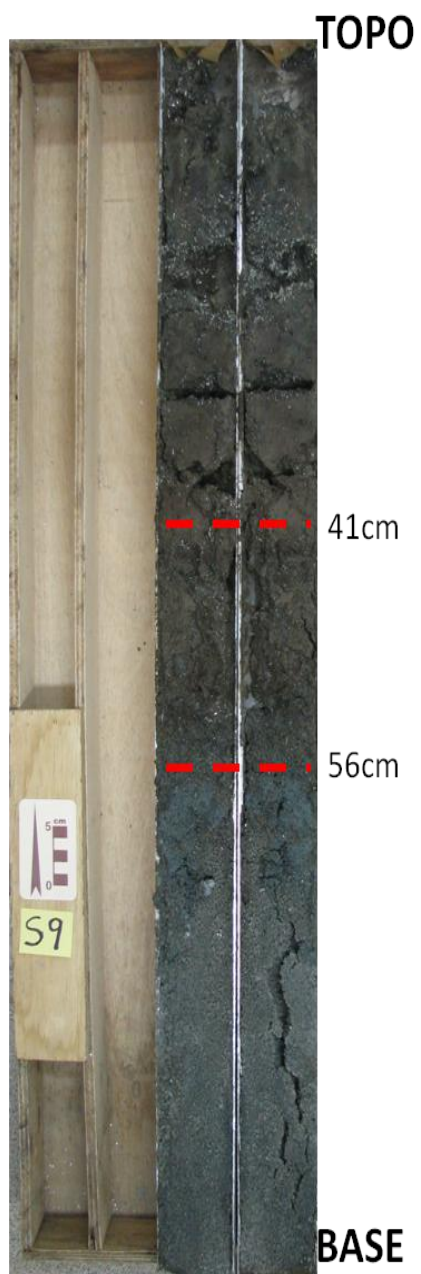




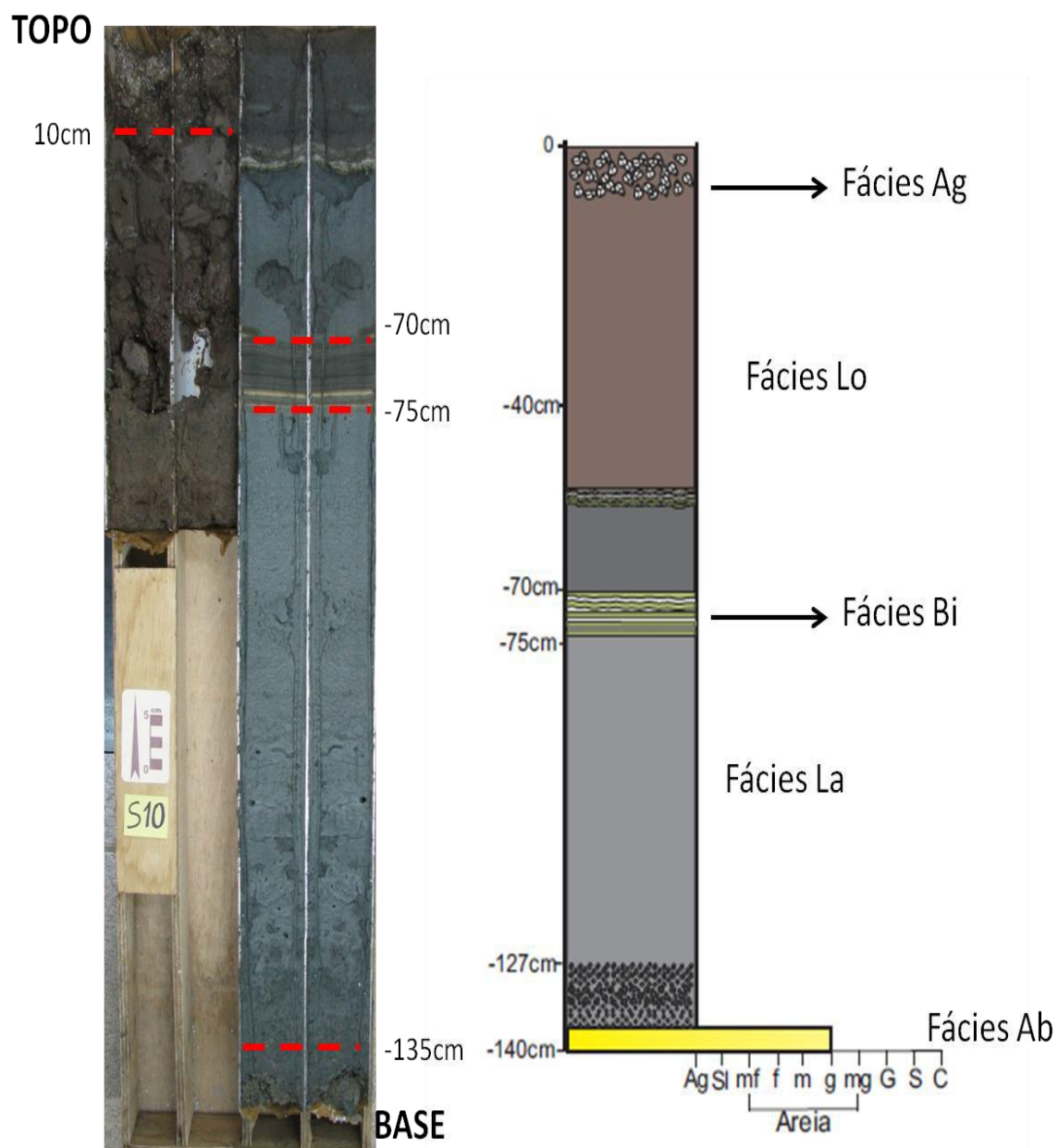
# LS-04



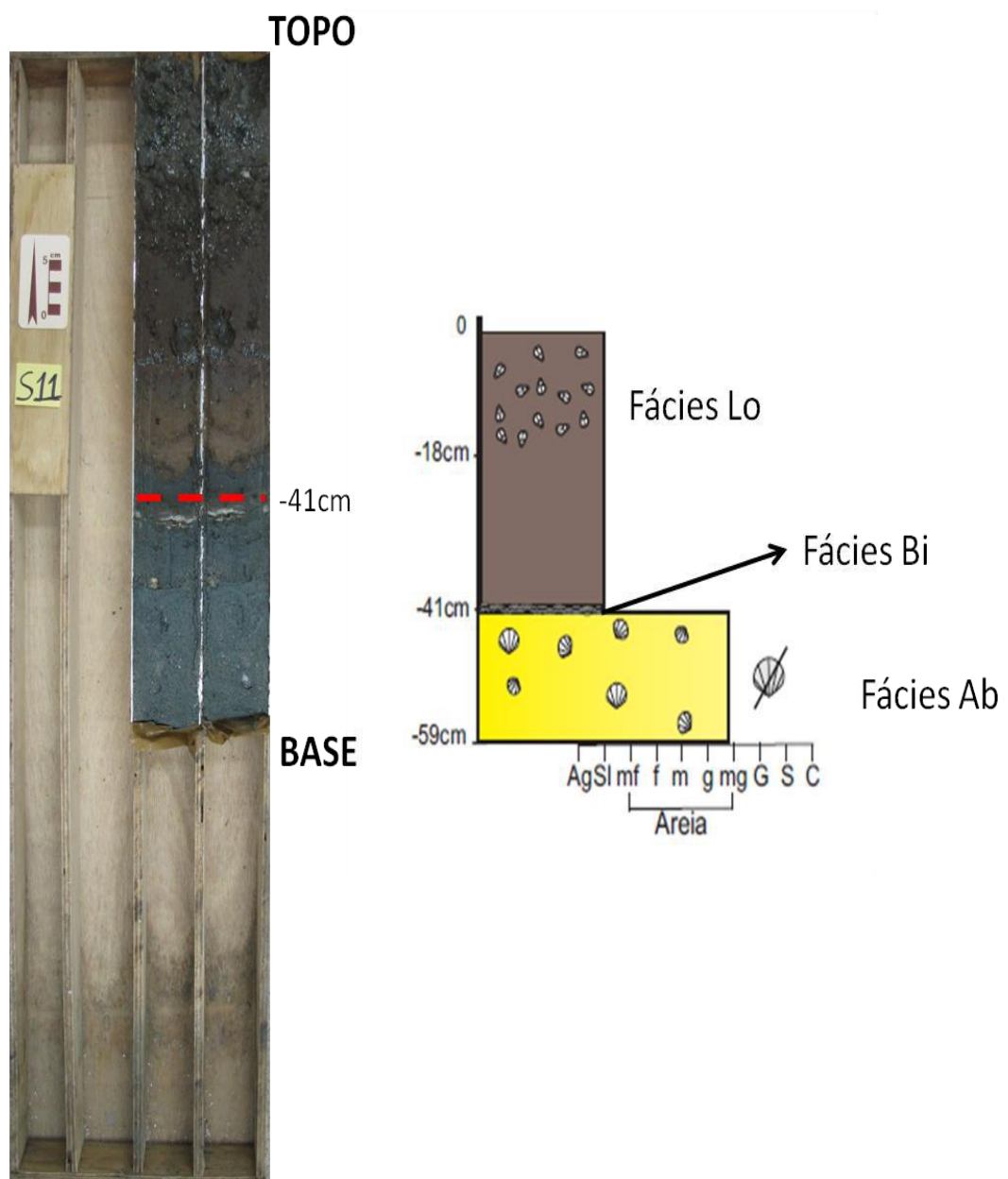
# LS-09



# LS-10

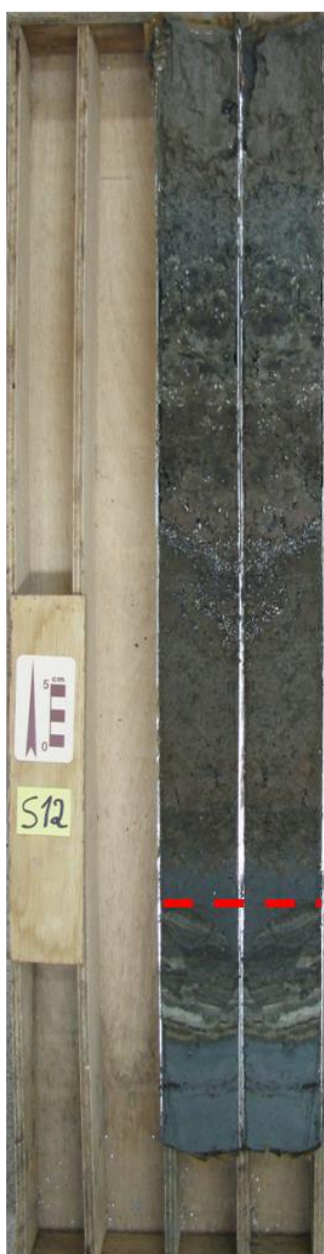


# LS-11

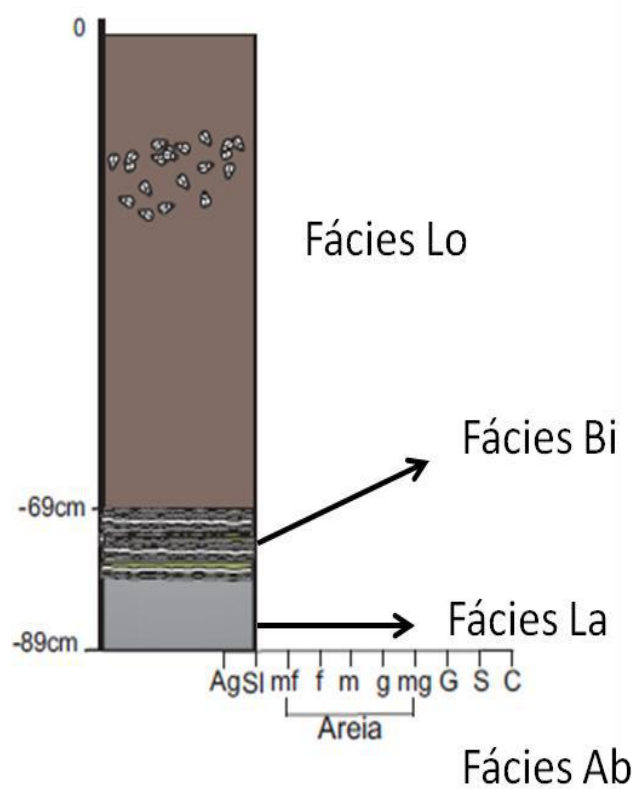


# LS-12

TOPO

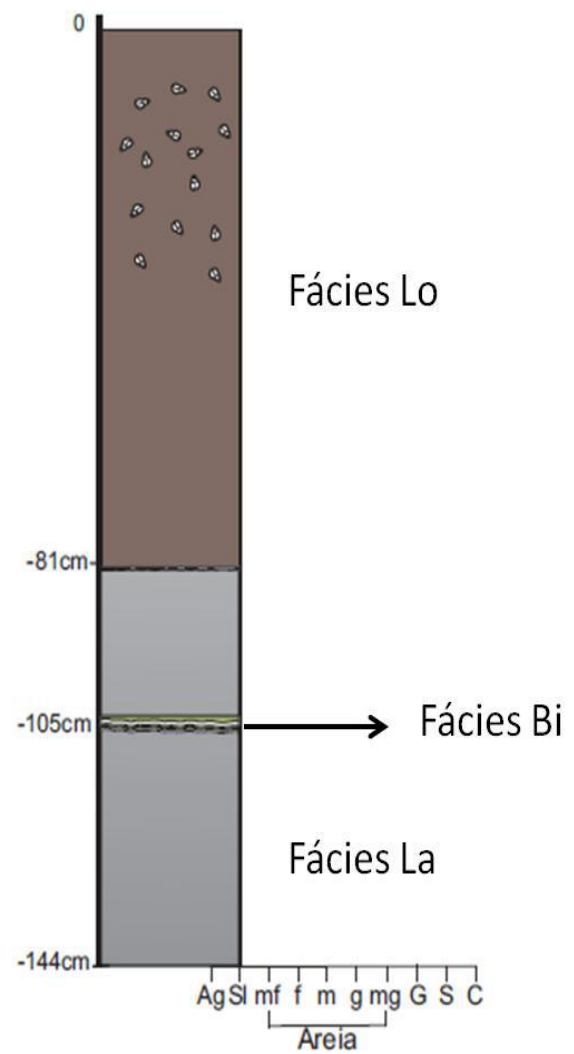
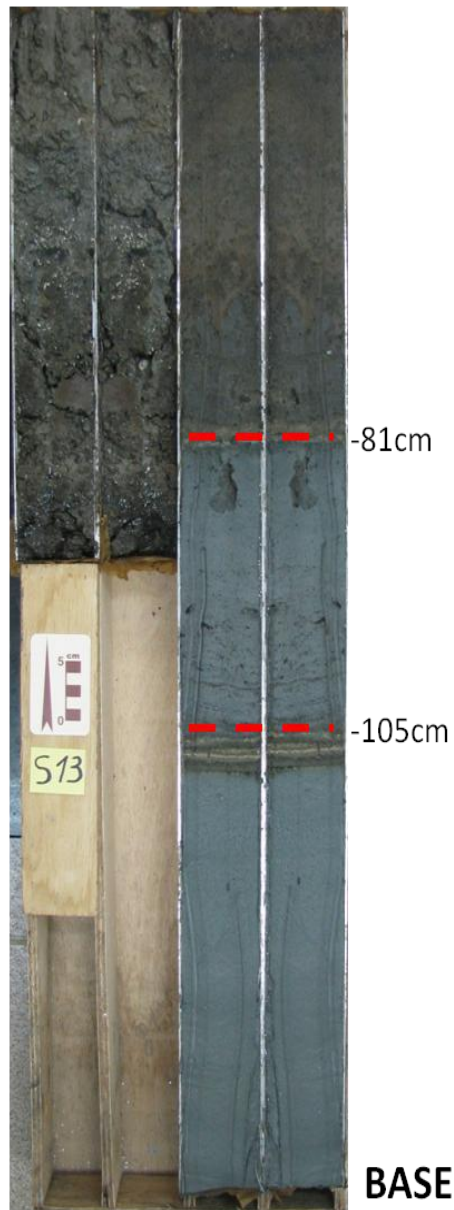


BASE



# LS-13

TOPO



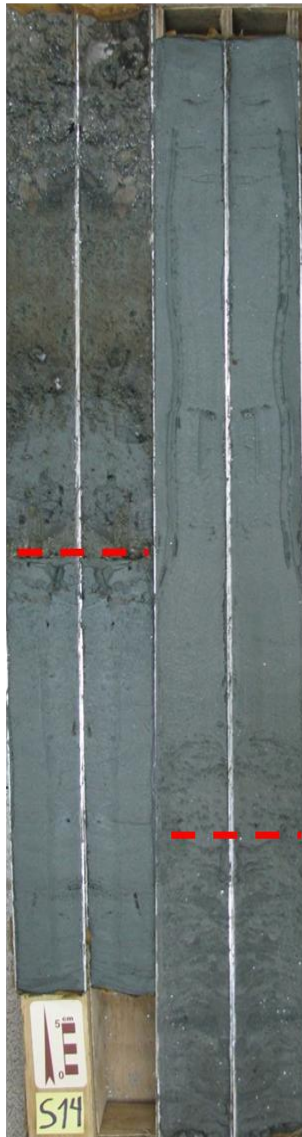
BASE



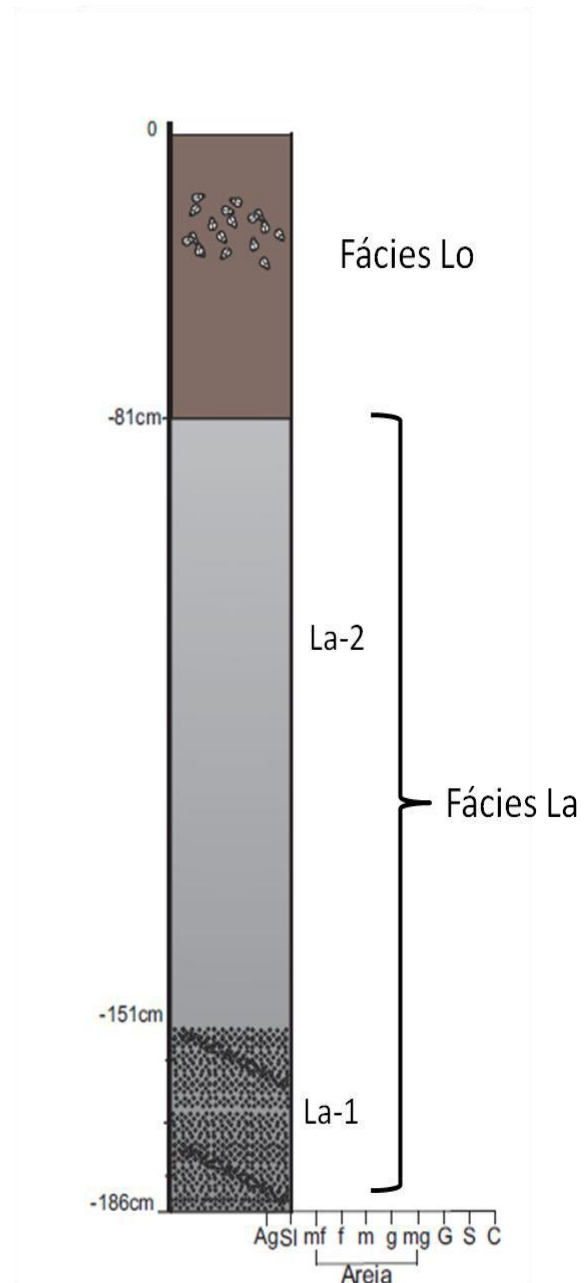
# LS-14

TOPO

-81cm



BASE



# LS-15

